

30-0040/2-001

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion
unter Berücksichtigung des Brandfalls, Teil II

Bericht erstattet von

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Karl Kordina
Dipl.-Ing. Ekkehard Richter
Dipl.-Ing. Ulrich Aufmuth

September 1985

Die Untersuchungen wurden im Auftrage des Innenministers des Landes
Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf (Az.: VB 1-72.02 - 156/81), durchge-
führt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	3
1.1 Allgemeines	6
2 Fugenbeanspruchungen im Brandfall	9
2.1 Festlegung der Steuerfunktionen	10
3 Brandversuche	14
3.1 Versuchsplanung und -vorbereitung	14
3.2 Versuchskörper	17
3.2.1 Herstellung der Versuchskörper	18
3.2.2 Herstellung der Fugenpakete	18
3.2.2.1 Temperaturmeßquerschnitte in der Fuge	20
3.3 Versuchsaufbau und -durchführung	23
3.3.1 Brandraum und Beheizung	23
3.3.2 Einbau der Versuchskörper für die Brandversuche	24
3.3.2.1 Steuerung der Fugenrandbewegungen	29
3.3.3 Einbau der Versuchskörper für die Alterungsversuche	31
3.3.4 Meßprogramm bei den Brandversuchen	33
3.3.4.1 Meßwerterfassung	33
3.3.4.2 Messung der Brandraumtemperaturen	33
3.3.4.3 Messung der Temperaturen in der Fuge	33
3.3.4.4 Messung der Fugenrandbewegung	34
3.3.5 Sonstige Beobachtungen	37
4 Versuchsergebnisse	38
4.1 Brandraumtemperatur	38
4.2 Temperatur in den Versuchskörpern	38
4.3 Einhaltung der vorgegebenen Steuerfunktion	38
4.4 Beobachtungen während der Brandversuche	38
4.4.1 Wasseraustritt auf der Balkenoberseite	38
4.4.2 Fugendichtungsmasse	39
4.4.3 Besondere Beobachtungen	40

4.5 Auswertung der Versuchsergebnisse	40
4.5.1 Horizontal schließende Fugenrandverschiebung	41
4.5.2 Horizontal öffnende Fugenrandverschiebung	42
4.5.3 Verdrehung beider Fugenufer nach unten	43
4.5.4 Verdrehung beider Fugenufer nach oben	45
4.5.5 Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach unten	46
4.5.6 Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach oben	48
4.5.7 Scherung eines Fugenufers nach unten	49
4.5.8 Künstlich gealterte Fugen	50
4.6 Einfluß der verschiedenen Parameter	52
4.6.1 Einfluß der Fugenbreite	53
4.6.1.1 bei reiner horizontaler Fugenrandverschiebung	53
4.6.1.2 bei Verdrehung beider Fugenufer	54
4.6.2 Einfluß der Fugentiefe	55
4.6.3 Einfluß der Einbaudicke des Fugenfüllstoffes	57
4.6.4 Einfluß des Anklebens des Fugenfüllstoffes an die Fugenflanken	58
4.6.5 Einfluß der künstlichen mechanischen Alterung	60
4.6.6 Einfluß der Fugendichtungsmasse	62
4.7 Diskussion der Versuchsergebnisse	64
5 Beurteilung der Versuchsergebnisse im Hinblick auf eine Anwendung in der Praxis	67
5.1 Ergebnisse	68
5.1.1 Zusammenstellung der Versuche mit Branddauern von mindestens 90 Minuten	68
5.1.2 Zusammenstellung der Versuche mit Branddauern von mindestens 60 Minuten und 30 Minuten	73
5.2 Zusammenfassung	75
6 Ausblick	77
7 Literatur	78
Verzeichnis der Anlagen	81

1 Einleitung

Fugen haben im Bauwerk meist mehrere Funktionen gleichzeitig zu erfüllen. Dehnfugen sollen beispielsweise Bewegungen des Bauwerks schadensfrei ermöglichen und gleichzeitig eine Abdichtung gegen Feuchtigkeit, Schall und Wärme bieten. Beide Aufgaben lassen sich nur schwer vereinen, weshalb im Fugenbereich besonders oft Schäden auftreten.

Im Brandfall werden der Dehnfuge extreme Beanspruchungen übertragen. In /2/ wurde deshalb schon 1938 für "besonders wichtige, schwer gefährdete oder ausgedehnte Bauwerke" die Anordnung von Branddehnungsfugen empfohlen. Die Wirkungsweise solcher speziellen Fugen sollte derart sein, daß z.B. in der Decke ein Kragteil durch die Wärmewirkung abgedrückt und auf das Nachbarteil aufgeschoben wird. Dadurch sollte der Dehnungsschaden auf ein Konstruktionsglied konzentriert werden (s. Bild 1.1).

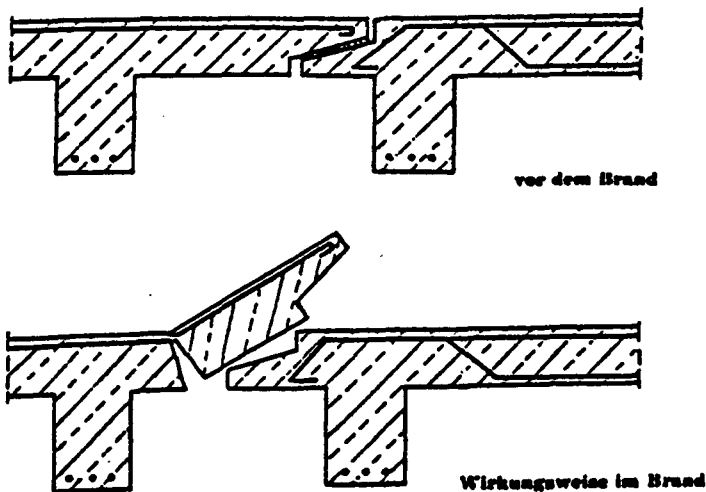


Bild 1.1: Wirkungsweise einer Branddehnungsfuge (aus /2/)

Die Erwähnung der Branddehnungsfuge in /2/ zeigt deutlich, daß schon seit Jahren die richtige Fugenausbildung, die richtigen Fugenabstände aber auch Fugenschäden Gegenstand von Diskussionen und Veröffentlichungen sind. Eine problemorientierte Fugenbemessung hinsichtlich Fugenföhrung und Fugenausbildung beschränkt sich aber bis heute auf den Gebrauchslastfall bei gängigen Hochbau-Tragwerken; für diese Fälle existieren Hilfsmittel, mit denen die zu erwartenden Verformungen aus Klimaeinflüssen (Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung) und Baustoffverhalten (Wärmeausdehnung, Kriech- und Schwindverhalten) abge-

schätzt werden können /3/. Im Brandfall muß die Fuge aber zusätzlich in der Lage sein, die aus der extremen thermischen Beanspruchung resultierende Verformung aufzunehmen, die in der Regel sehr viel größer ist als die zu erwartende Verformung im Gebrauchszustand. Gleichzeitig ist die Fuge so auszubilden, daß sie den Durchtritt des Feuers unmittelbar oder infolge Durchwärmung verhindert /8/. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Teile des Fugenfüllstoffs während des Brandes hohen Temperaturen ($> 500^{\circ}\text{C}$) ausgesetzt sind und dadurch unter Umständen ihr elastisches Verhalten verlieren.

In /4/ wird am Beispiel von Beobachtungen bei Bränden auf die Bedeutung der brandschutztechnisch richtig bemessenen Dehnfuge hingewiesen: Beim Brand in einem Lagergebäude der chemischen Industrie verhinderte eine 10 cm (!) weite Dehnfuge zwischen den tragenden Bauteilen der aneinander grenzenden Brandabschnitte, daß Schäden durch Zwangkräfte in den nicht vom Brand betroffenen Teil des Gebäudes übertragen wurden. Ein zweites Beispiel in /4/ schildert die Schäden am Bauwerk bei unzureichender Dehnfugenanordnung bzw. -ausbildung: Während der langen und intensiven Branddauer in einem Verlagsgebäude (15 Stunden Branddauer, hohe Brandlast in Form von Schallplattenhüllen) wurden so große horizontale Zwangkräfte in die Stützenköpfe eingeleitet, daß die entstehende Momenten-/Schubbeanspruchung zum Abscheren der Stützen führte. In /4/ wird empfohlen, die durch solche Schäden verursachten Gefahren, z.B. großflächige Einstürze, dadurch zu verhindern, daß - neben anderen Maßnahmen - eine möglichst enge Dehnfugenteilung vorgenommen wird. Daraus ergibt sich natürlich die Frage nach Dehnfugenabstand und -breite in brandschutztechnisch wünschbarer und baupraktisch zumutbarer Größenordnung.

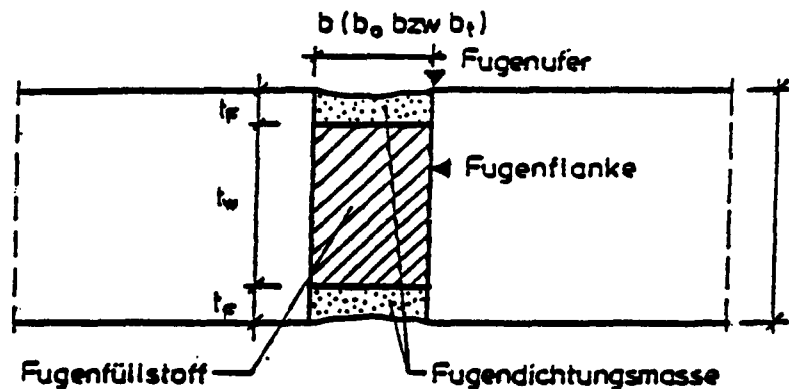
Im vorliegenden Untersuchungsvorhaben wird versucht, für diese Fragestellungen Lösungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Im Abschnitt 2 wird zunächst die Fugenbeanspruchung im Brandfall in Form von zeitabhängigen Funktionen zur Beschreibung der während des Brandes zu erwartenden Fugenbewegungen (Verdrehung und Scherung) definiert. Die für die Brandversuche entworfenen Versuchskörper, die Versuchsplanung und -vorbereitung sowie der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung werden in Abschnitt 3 dargestellt. Der Abschnitt 4 enthält die Versuchsergebnisse, wobei während der Brandversuche die Fugenbewegungen entsprechend der im Abschnitt 2 entwickelten Steuerfunktionen vorgenommen wurde. Im

Abschnitt 5 werden die Versuchsergebnisse im Hinblick auf eine Anwendung in der Praxis ausgewertet.

Der vorliegende Untersuchungsbericht berichtet über den 2. Teil des Untersuchungsvorhabens "Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls"; über den 1. Teil der Untersuchungen wurde 1979 ein Bericht vorgelegt /1/. Beide Teile des Untersuchungsvorhabens wurden vom Innenminister des Landes Nordrhein-Westfalen finanziell unterstützt.

1.1 Allgemeines

Die Bezeichnungen der einzelnen Dehnfugendetails werden in der Literatur nicht einheitlich vorgenommen. In diesem Bericht werden - in Anlehnung an DIN 52 460 /6/ - die im Bild 1.2 aufgeführten Bezeichnungen benutzt.



- b : Fugenbreite zum Zeitpunkt des Einbringens des Fugenfüllstoffs
- b_t : Fugenbreite nach t -Minuten Branddauer
(z.B.: b_0 : Fugenbreite bei Brandbeginn
 $b_{90 \text{ oben}}$: Fugenbreite nach 90 Minuten Branddauer am feuerabgewandten Fugenufer)
- t : Fugentiefe $t = t_F + t_w + t_F$
- t_w : Tiefe des Fugenfüllstoffs
- d_w : Dicke des Fugenfüllstoffs im unbelasteten Zustand
- t_F : Tiefe der Fugendichtungsmasse

Bild 1.2: Dehnfuge, geometrische Bezeichnungen

Als Fugenrandbewegung wird im folgenden die relative Verschiebung, Scherung und Verdrehung der Fugenflanken zueinander verstanden. Die Fugenrandbewegungen werden entsprechend der im Bild 1.3 getroffenen Zuordnungen benannt. Zum Beispiel bedeutet die Bezeichnung "Verdrehung beider Fugenufer nach unten", daß beide Fugenufer gleichmäßig nach unten - in Richtung der Brandbeanspruchung - abgesenkt werden, wobei sich die Fuge auf der feuerzugekehrten Seite öffnet, während sie auf der feuerabgekehrten Seite die Fugenbreite vom Brandbeginn behält.

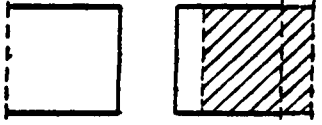

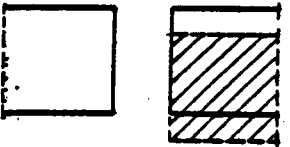

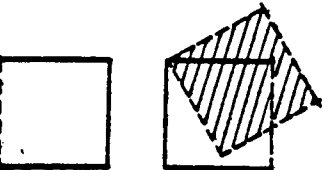

Fugenrandbewegung	Symbol	Bezeichnung
		Verschiebung
		Scherung
		Verdrehung

Bild 1.3: Dehnfuge, Bezeichnung der Fugenrandbewegungen

Im 1. Teil des vorliegenden Untersuchungsvorhabens /1/ wurden für einige ausgesuchte Fugenausbildungen grundlegende Erkenntnisse über die Temperatúrausbreitung im Fugenbereich sowie über die Kräfteentwicklung im Bereich der Fugenränder bei zeitlich veränderlicher Fugenrandbewegung erarbeitet. Die begrenzte Anzahl der untersuchten Fugenausbildungen erforderte zusätzliche Untersuchungen, um für die Vielzahl der in der Praxis auftretenden Fugenformen und -beanspruchungen allgemeingültige Bemessungskriterien ableiten zu können.

Die Ergebnisse in /1/ zeigten, daß auch Fugen, die mit nichtbrennbaren Baustoffen verfüllt sind, bei bestimmten zeitabhängigen Fugenrandbewegungen die Anforderungen der DIN 4102 nicht erfüllen. Als besonders kritisch erwiesen sich dabei Fugen, bei denen die Fugenflanken während

des Brandversuchs gegeneinander verdreht wurden.

Von diesen Ergebnissen ausgehend, wurden für den 2. Teil des Untersuchungsvorhabens schwerpunktmäßig Brandversuche mit einer zeitabhängigen Verdrehung der Fugenflanken vorgesehen. Dabei wurden sowohl Fugenrandbewegungen berücksichtigt, die während des Brandes eine Vergrößerung der Fugen verursachen, als auch Fugenausbildungen, bei denen die Fuge bei Brandbeginn eine gegenüber dem Einbauzustand vergrößerte Fugenweite aufweist. Einige Fugenausbildungen, die sich aufgrund dieser Untersuchungen als besonders geeignet für die brandschutztechnischen Anforderungen erwiesen, wurden einer zusätzlichen Beanspruchung unterzogen. Sie wurden vor dem Brandversuch einer künstlichen mechanischen Alterung in Form einer 18.000fachen Dehnung und Stauchung ausgesetzt. Dadurch sollte geklärt werden, ob die Fugenfüllstoffe nach jahrelanger mechanischer Alterung im Bauwerk noch die gleichen Brandschutzeigenschaften wie zum Einbauzustand besitzen.

Während der Untersuchungen wurde ein Zwischenbericht /5/ angefertigt, der den Stand der Arbeiten vom 15.07.1984 wiedergibt. Der Inhalt dieses Berichtes ist in dem hier vorliegenden Abschlußbericht übernommen worden, um eine vollständige und übersichtliche Darstellung der Untersuchungsergebnisse zu erreichen.

2 Fugenbeanspruchung im Brandfall

Im Brandfall werden die dem Feuer ausgesetzten Bauteile stark erwärmt, und sie versuchen sich entsprechend thermisch zu verformen. Diese Verformungen beanspruchen die Fuge in Form von zeitabhängigen Verschiebungen, Scherungen und/oder Verdrehungen. Diese Bewegungen werden auf das Fugenmaterial (Fugendichtungsmasse und Fugenfüllstoff) übertragen und führen dort zu einer mechanischen Beanspruchung in Form von Zug, Druck, Biegung und/oder Scherung. Gleichzeitig wird das Fugenmaterial zunehmend erwärmt und verliert damit unter Umständen die Fähigkeit, den Durchtritt des Feuers durch die Fuge zu verhindern. Grundsätzlich läßt sich damit für den Brandfall die Fugenbeanspruchung in zwei Anteile aufspalten: in einen mechanischen Anteil infolge Fugenbewegung und in einen thermisch bedingten Anteil infolge Durchwärmung des Fugenmaterials.

In Versuchen, die Anregungen für eine praxisgerechte Dehnfugenausbildung geben sollen, müssen beide Anteile berücksichtigt werden. Die thermische Beanspruchung wird dadurch realisiert, daß als Brandbelastung die Einheits-Temperaturzeit-Kurve nach DIN 4102 Teil 2 /7/ (s. Abschnitt 3.3.1) festgelegt wird.

Zur Wiedergabe der mechanischen Fugenbeanspruchung müssen zeitabhängige Steuerfunktionen entwickelt werden, die in der Lage sind, die in einem Bauwerk während eines Brandes auftretenden Fugenrandbewegungen zu beschreiben. Sind entsprechende Steuerfunktionen vorhanden, dann genügt es im Brandversuch, aus dem Gesamtbauwerk nur einen Ausschnitt zu untersuchen. Die Bauwerksbereiche unmittelbar neben der Fuge werden durch relativ kleine Versuchskörper wiedergegeben, wobei diese Versuchskörper während des Brandversuchs nach Vorgabe der Steuerfunktionen bewegt werden und dadurch die im Gesamtbauwerk vorausgesetzte Fugenrandbewegung auf den untersuchten Fugenabschnitt übertragen.

2.1 Festlegung der Steuerfunktionen

Die Größe der Bewegung, die eine Fuge im Gebrauchszustand aufnehmen muß, hängt im wesentlichen von der Bauart des Gebäudes (Skelettbau oder Mauerwerk), der Aussteifung, Stützenschlankheit, Wärmedämmung und vor allen Dingen vom vorhandenen Fugenabstand ab. In /3/ sind Angaben über maximale Dehnfugenabstände aus verschiedenen Literaturstellen zusammengefaßt. Die Werte, hier in Anlage 2.1 wiedergegeben, verdeutlichen die Problematik von pauschalen Angaben über Fugenabstände. Die Größe der maximalen Fugenabstände schwankt für gleiche Gebäudekonstruktionen erheblich. Zu beachten ist, daß alle Angaben in Anlage 2.1 nur für den Gebrauchslastfall, d.h. für Raumtemperatur bzw. für Temperaturextreme von weniger als 100 °C, gelten. Für den Brandfall fehlen in der Literatur bisher Angaben, die den Zusammenhang zwischen Dehnfugenabstand und Bauart des Gebäudes einerseits sowie der zu erwartenden Fugenrandbewegung andererseits aufzeigen.

Im vorliegenden Untersuchungsvorhaben wurde deshalb der maximal zulässige Dehnfugenabstand nach DIN 1045, Abschnitt 4.4.2 /8/ mit $a = 30$ m festgelegt. Daraus ergibt sich für den Normalfall, d.h. für Gebäude normaler Art und Nutzung mit einer bauaufsichtlichen Brandschutzforderung "F 90" /9/, eine Dehnfugenbreite von mindestens $b = a/1200 = 25$ mm. In besonderen Fällen, d.h. für Gebäude, bei denen mit besonders hohen Temperaturen oder mit besonders langen Branddauern zu rechnen ist, soll die Dehnfugenbreite $b = a/600 = 50$ mm betragen.

Nach Festlegung der Fugenbreite, wobei das Versuchsprogramm schwerpunktmäßig den Normalfall mit $b = 25$ mm und einer angestrebten Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten berücksichtigt (s. Abschnitt 3.1), wurden die zeitabhängigen Steuerfunktionen zur Realisierung der während des Brandes auftretenden Fugenverschiebungen und -verdrehungen entwickelt. Dabei konnte auf Funktionsansätze aus /1/ zurückgegriffen werden, die im wesentlichen durch Auswertung von Meßergebnissen aus Brandversuchen festgelegt wurden. Für das vorliegende Untersuchungsvorhaben wurden weitere Brandversuche ausgewertet, um damit die Basis für die Steuerfunktionen zu vergrößern. In den Bildern 2.1 und 2.2 sind die Meßwerte und die gewählten Steuerfunktionen für die horizontale Fugenrandverschiebung und die Fugenrandverdrehung dargestellt.

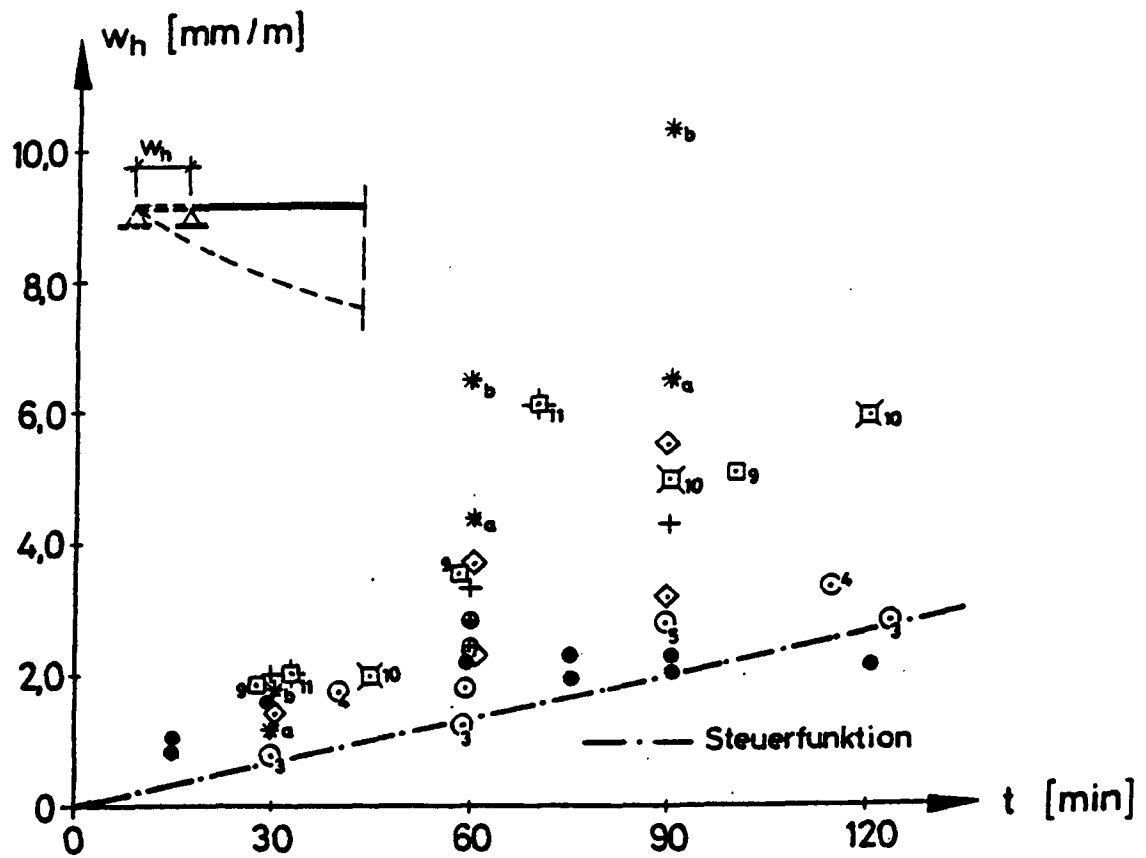


Bild 2.1: Meßwerte und Steuerfunktion für die horizontale Fugenrandverschiebung (Erklärung der Symbole: s. Tabelle 2.1)

Symbol	Querschnitt u. stat. System	Literat.
+		[20]
* _a * _b		[21]
⊕		[22]
◇		[23]
Gr. □, □ ₁₀ , □ ₉	natürl. Brand durchlaufende Deckenfelder Brandlast n. ETK d=15cm Nr: Vers Nr.	[24]
●	 Quadratplatte l=4,92m d=15cm vollständig befl.	[25]

Tabelle 2.1: Erklärung der Symbole von Bild 2.1 und 2.2

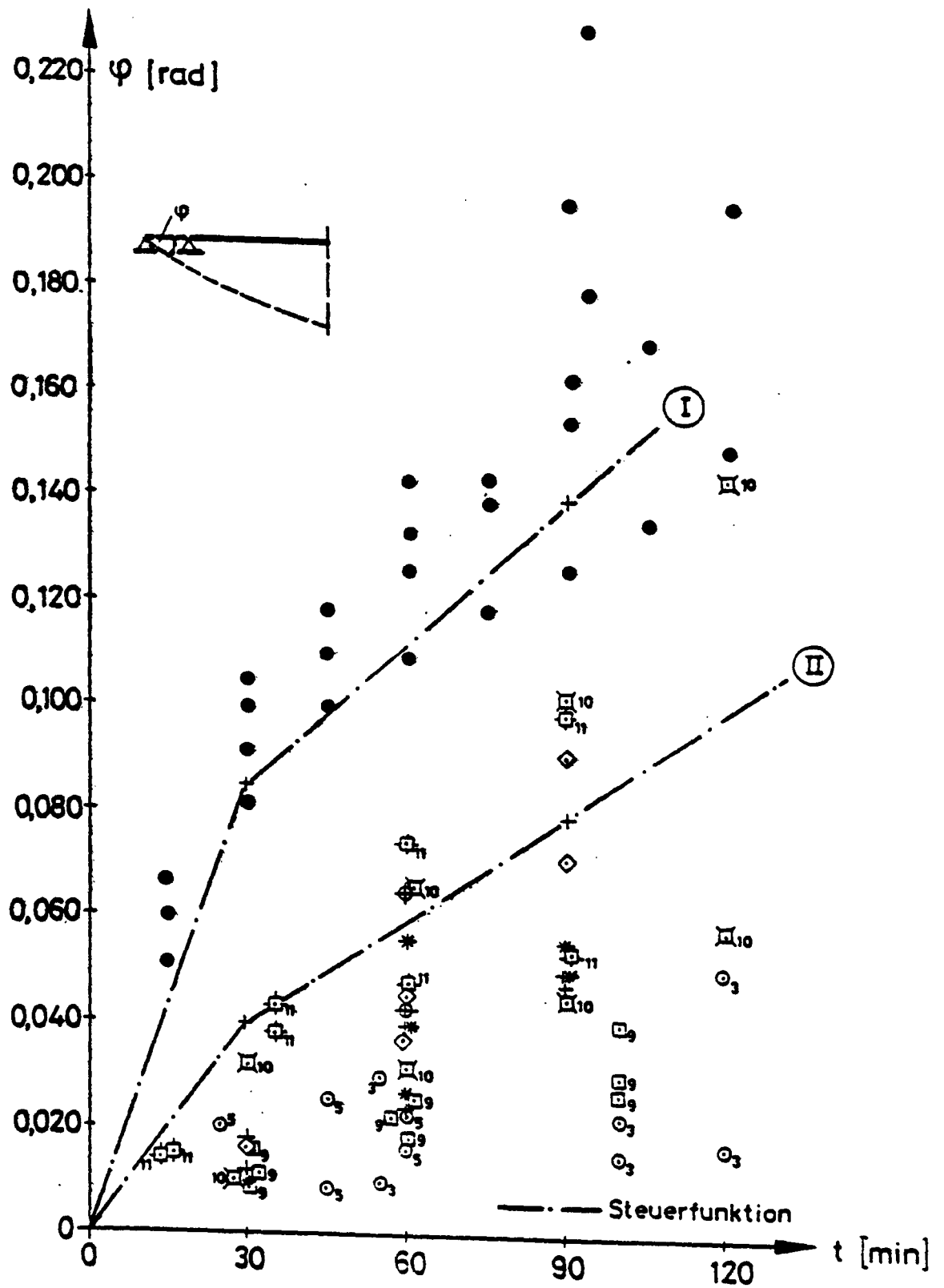


Bild 2.2: Meßwerte und Steuerfunktion für die Fugenrandverdrehung
(Erklärung der Symbole: s. Tabelle 2.1)

Der breite Streubereich der aufgetragenen Meßergebnisse ergibt sich aus den stark unterschiedlichen Randbedingungen (Querschnittsabmessung, statisches System, Belastungsverhältnis) der für die Auswertung zur Verfügung gestandenen Versuche (s. Tabelle 2.1). In der Auswertung wurden im wesentlichen Meßergebnisse aus Deckenversuchen berücksichtigt. Dabei handelt es sich um vierseitig gelagerte Stahlbetonplatten unter Gebrauchslast, die im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz im Rahmen von Arbeiten für den Sonderforschungsbereich 148 untersucht worden sind /25/. Für das hier zu bearbeitende Untersuchungsvorhaben wurden für die Fugenrandverdrehungen zwei Steuerfunktionen ausgewählt:

- Funktion I beschreibt die maximal auftretende Fugenrandverdrehung bei einer statisch bestimmt gelagerten Einfelddecke,
- Funktion II ist um die Hälfte gegenüber der Funktion I abgemindert, sie gilt für solche Fälle, bei denen die Verdrehung am Plattenrand durch Randbalken, vertikale Auflasten o.ä. behindert wird.

Für die vertikalen Verschiebungen (Fugenrandscherung) konnte infolge fehlender Meßwerte noch keine Steuerfunktion entwickelt werden. In den Brandversuchen wurde deshalb für die maximale vertikale Verschiebung nach 90 Minuten Branddauer die halbe Plattendicke ($d/2 = 50 \text{ mm}$ bzw. 75 mm) festgesetzt. Dieser Wert wurde mit konstanter Verschiebungsgeschwindigkeit angesteuert.

Für die Festlegung der horizontalen Fugenrandverschiebungen wurde von einer beflamnten, an die Fuge angrenzende Deckenlänge zwischen 4.0 m und 4.5 m ausgegangen. Damit ergibt sich nach 90 Minuten Branddauer eine horizontale Fugenrandverschiebung zwischen 8 mm und 9 mm.

3 Brandversuche

Die Brandversuche wurden in einem Deckenbrandhaus des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz ausgeführt. Für die Versuchsdurchführung wurde im wesentlichen auf die in /1/ entwickelte und erprobte Versuchseinrichtung zurückgegriffen. Durch einige konstruktive Veränderungen an der Versuchseinrichtung wurden die Vorbereitungszeiten für die Brandversuche verkürzt, wobei gleichzeitig die Aushärtungszeit für die Fugendichtungsmasse verlängert wurde.

3.1 Versuchsplanung und -vorbereitung

Für die Untersuchungen wurden 33 Brandversuche vorgesehen. Schwerpunktmäßig wurden Fugen untersucht, bei denen die Fugenränder verdreht wurden. Diese Zielsetzung ergab sich aus den Ergebnissen von Teil I des Untersuchungsvorhabens /1/: Dort wurde festgestellt, daß besonders bei Verdrehung der Fugenränder der Raumabschluß vor Erreichen der festgesetzten Feuerwiderstandsdauer verloren geht. In der Tabelle 3.1 sind die Fugenrandbewegungen und die zugehörige Anzahl von Brandversuchen zusammengestellt.

Neben der Fugenrandbewegung wurden als weitere Untersuchungsparameter die Fugenbreite, der Fugenaufbau, die Fugentiefe und die Fugenform variiert. Die Fugenbreite wurde mit $b = 25 \text{ mm}$ und $b = 50 \text{ mm}$ festgesetzt (s. Abschnitt 2.1). Bei diesen Breiten wurden die Fugen mit Fugenfüllstoff und Fugendichtungsmasse verfüllt und anschließend zwischen 4 und 10 Tage gelagert, um eine ausreichende Aushärtung der Fugendichtungsmasse zu erreichen. Vor Beginn der Brandbeanspruchung wurde bei den meisten Versuchen die Fugenbreite um 20 % auf $b_0 = 30 \text{ mm}$ bzw. $b_0 = 60 \text{ mm}$ vergrößert, um damit eine Fugenöffnung zu berücksichtigen, die sich im Gebrauchszustand aus Kriechen und Schwinden, Setzungen und Temperatureinflüssen ergeben.

Die Fugentiefe betrug $t = 100 \text{ mm}$ oder $t = 150 \text{ mm}$; als Fugenform wurden parallelwandige und z-förmige Fugen ausgeführt.

Der Fugenaufbau wurde dadurch variiert, daß der Fugenfüllstoff ungeklebt oder beidseitig an die Fugenflanken angeklebt war. Daneben wurden Fugen mit unterschiedlicher Dicke des Fugenfüllstoffs und mit unterschiedlicher Anordnung der Fugendichtungsmasse (ohne Fugendichtungsmasse, Fugendichtungsmasse nur an der feuerabgekehrten Fugenseite, Fugendichtungsmasse an beiden Fugenseiten) untersucht.





Fugenrand- bewegung	Anzahl der Brandversuche	Anzahl der Brand- versuche mit "gealterten" Fugen- material
	8	1
	15	2
	1	-
	9	2

Tabelle 3.1: Zusammenstellung der Brandversuche, geordnet nach der vorgegebenen Fugenrandbewegung

Einige Fugenausführungen, die sich als besonders geeignet für die brandschutztechnischen Anforderungen erwiesen, wurden vor dem Brandversuch einer zusätzlichen Beanspruchung in Form einer 18.000fachen Dehnung und Stauchung unterzogen. Dadurch wurden die Dehnfugen annähernd den Formänderungen ausgesetzt, die sich bei angenommener 50jähriger Lebensdauer infolge klimatisch bedingter Temperaturschwankungen, Schwinden und Kriechen usw. einstellen. Die Brandversuche, die so mit künstlich mechanisch gealterten Fugenfüllstoffen und Fugendichtungsmassen durchgeführt wurden, sind in der Tabelle 3.1 in der rechten Spalte ausgewiesen. Zusammenfassend sind alle 33 Brandversuche mit Angabe der Fugentiefe, sowie der Fugenstellung bei Beginn der Branduntersuchung und nach 90 Minuten Branddauer in den Anlagen 3.1a bis 3.1c aufgeführt. Die Brandversuche mit vorhergehender künstlicher Alterung sind dort durch eingekreiste Versuchsnummern gekennzeichnet.

3.2 Versuchskörper

Der Versuchskörper bestand aus mehreren Teilen: Im Fugenbereich aus zwei 20 cm breiten Stahlbetonbalken und im übrigen Versuchskörperbereich aus einer geschweißten Stahlkonstruktion, die brandraumseitig mit einer 20 cm dicken Bekleidung aus feuerfestem Leichtbeton versehen war. Im Bild 3.1 ist der Versuchskörper im Querschnitt dargestellt.

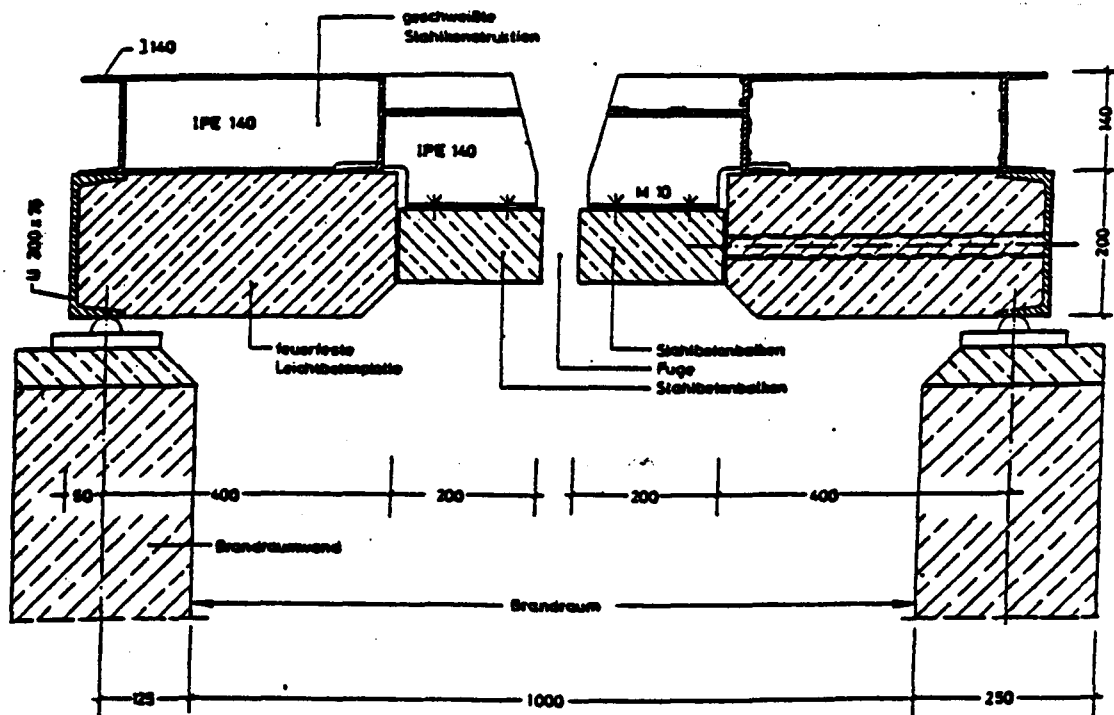


Bild 3.1: Versuchskörper im Querschnitt

Durch die Aufteilung des Versuchskörpers in mehrere Teile wurden kurze Vorbereitungszeiten für die Versuche erzielt, ungewollte Verformungen der Versuchskörper verhindert und die Herstellungskosten für die Versuchskörper niedrig gehalten. Die Vorteile entstanden dadurch, daß die Stahlbetonbalken mit wenigen Handgriffen von der Stahlkonstruktion zu lösen waren und dadurch nach jedem Brandversuch leicht ausgetauscht werden konnten, während die geschweißte Stahlkonstruktion auf der Brandkammer liegenblieb. Durch diese Versuchskörperausbildung wurde es möglich, den eigentlichen Fugenbereich, der durch zwei auf Abstand gehaltene Stahlbetonbalken gebildet wurde, außerhalb der Brandkammer mit großem zeitlichen Vorlauf herzustellen und dadurch ausreichende Zeit zum Aushärten der Fugendichtungsmasse zu erhalten.

3.2.1 Herstellung der Versuchskörper

Die Versuchskörper wurden im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig hergestellt.

Die geschweißte Stahlkonstruktion diente dazu, die Platte aus feuerfestem Leichtbeton auszusteifen und eine Befestigungsmöglichkeit zu geben, um die Versuchskörper über dem Brandraum aufzuhängen. Über der längsseitigen Brandraumwand wurde die Leichtbetonplatte durch ein aufrechtstehendes C 200-Profil eingefasst, dessen unterer Flansch als Auflagerfläche für den Versuchskörper diente. Abmessungen und Konstruktionsdetails der geschweißten Stahlkonstruktion sind in der Anlage 3.2 dargestellt.

Die Stahlbetonbalken wurden in drei unterschiedlichen Abmessungsvarianten hergestellt. Für die parallelwandigen Fugen wurden Stahlbetonbalken mit den Abmessungen von $b/d = 200/100$ mm und $b/d = 200/150$ mm hergestellt, für die z-förmigen Fugen betrugen die Abmessungen $b/d = 250/100$ mm. Für die Befestigung der Stahlbetonbalken an der geschweißten Stahlkonstruktion wurden an der Oberseite der Balken zwei Halfenschienen einbetoniert. In den Anlagen 3.3 bis 3.5 sind die Abmessungen und Konstruktionsdetails der Stahlbetonbalken dargestellt.

3.2.2 Herstellung der Fugen

Die als Fugenflanken dienenden Stahlbetonbalken waren bei den parallelwandigen Fugen 200 mm breit, 1460 mm lang und 100 mm bzw. 150 mm hoch. Außerhalb der Brandkammer wurden jeweils zwei Stahlbetonbalken im Abstand der gewünschten Fugenbreite nebeneinander gelegt und an beiden Enden mittels Abstandhölzern und Schraubzwingen arretiert. Im nächsten Arbeitsgang wurden die Fugenflanken von Staub und losen Bestandteilen befreit und anschließend verfüllt. Der Fugenfüllstoff bestand aus jeweils einem 70 mm bzw. 120 mm breiten Mineralfaserplattenstreifen "ISOVER-Brandschutzdämmplatte BS 30" ($\rho = 30 \text{ kp/m}^3$, Baustoffklasse A 1, Schmelzpunkt $> 1000^\circ\text{C}$), der so in die 100 mm bzw. 150 mm tiefe Fuge eingebaut wurde, daß oben und unten jeweils ein Abstand von 15 mm zum Fugenrand verblieb. Die verbleibenden Fugenflanken wurden nochmals gesäubert und mit Fugenprimer grundiert. Nach Ablauf der vorgeschriebe-

nen Ablüftezeit des Primers wurde die Fuge oben und unten mit der Fugendichtungsmasse "BÜKA-Silicon-S" verfüllt, um so der Fuge einen für den Gebrauchszustand erforderlichen dauerelastischen Abschluß zu geben. Die zur Messung der Fugentemperaturen erforderlichen Thermoelemente wurden während der Ausbildung der Fugen mit eingebaut (s. Abschnitt 3.2.2.1).

Für einige Brandversuche wurde der Fugenfüllstoff mit einem Kleber "PROMAT-Kleber PGS 32" (Baustoffklasse A1) an die Fugenflanken angeklebt.

An der Oberseite der Stahlbetonbalken waren jeweils zwei Halfenschienen angeordnet, an die - nach Herstellung der Fuge - zwei quer zur Fuge aufgelegte C-Stahlprofilstücke fest angeschraubt wurden. Nach Entfernung der Schraubzwingen wurde dann das so entstandene "Fugenpaket" in einer geschlossenen Halle des Instituts bis zum Brandversuch gelagert.

3.2.2.1 Temperaturmeßquerschnitte in der Fuge

Die zeitliche Temperaturentwicklung in der Fuge wurde mit NiCr-Ni-Thermoelementen (Drahtdurchmesser 0,5 mm) gemessen. Die freien Drahtenden wurden zu Meßperlen verschweißt. In jeder Fuge wurden drei Temperaturmeßquerschnitte angeordnet. Der Abstand der Temperaturmeßquerschnitte betrug 0,45 m, wobei der mittlere Temperaturmeßquerschnitt in halber Fugenlänge angeordnet war. Der gesamte Temperaturmeßbereich war ausreichend weit von den Brandkammerwänden entfernt, um eine annähernd gleiche Brandraumtemperaturbeanspruchung der drei Meßquerschnitte zu erreichen. Im Bild 3.2 ist die Anordnung der Temperaturmeßquerschnitte dargestellt.

Bei den parallelwandigen Fugenausbildungen, die ohne mechanische Alterung untersucht wurden, waren bei den Brandversuchen 1 bis 8 in jedem Temperaturmeßquerschnitt jeweils 7 Meßstellen und bei den Brandversuchen 9 bis 11 bzw. 13 bis 27 jeweils 8 Meßstellen angeordnet. Bei den Brandversuchen mit vorhergehender mechanischer Alterung (Brandversuch 28 bis 33) waren im Fugenbereich keine Thermoelemente verlegt, um zu vermeiden, daß bei der mechanischen Beanspruchung im Fugengüllstoff oder in der Fugendichtungsmasse Risse oder Zerstörungen durch Thermoelemente auftreten. Vor den Brandversuchen wurden in jedem Temperaturmeßquerschnitt auf der Fugenoberseite jeweils 3 Meßstellen angeordnet. Bei der z-förmigen Fugenausbildung (Brandversuch 12) waren in jedem Temperaturmeßquerschnitt jeweils 6 Meßstellen vorhanden.

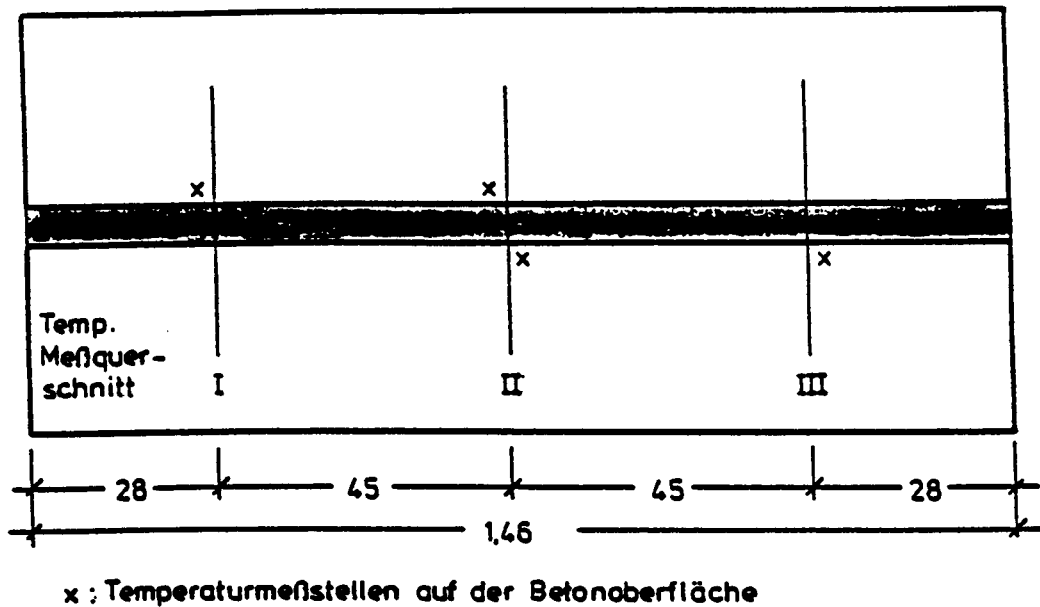


Bild 3.2: Anordnung der Temperaturmeßquerschnitte

Zusätzlich zu den Thermoelementen, die in der Fuge bzw. auf der Fuge angeordnet waren, wurden die Temperaturen in jedem Meßquerschnitt ca. 3 cm neben der Fuge, auf dem Stahlbetonbalken, gemessen. Dafür wurden NiCr-Ni-Thermoelemente verwendet, deren freie Drahtenden auf einen kleinen Kupfer-Blechstreifen geschweißt waren. Diese Blechstreifen wurden nach Einbau der Fugenpakete mit Hilfe dünner Gipsplättchen auf die Betonoberfläche geklebt.

Im Bild 3.3 sind die Anordnung und Numerierung der Temperaturmeßstellen bei den unterschiedlichen Fugenausbildungen dargestellt.

Neben den örtlich fest installierten Temperaturmeßstellen wurde in jedem Brandversuch ein Handmeßfühlggerät - ein sog. Wanderelement - eingesetzt. Mit diesem beweglichen Meßgerät wurden die Temperaturen an solchen Stellen gemessen, an denen nach augenscheinlicher Beobachtung eine Temperaturveränderung an der Fugenoberfläche stattfand (Risse, Spalten u.ä.), aber keine fest installierten Temperaturmeßstellen vorhanden waren.

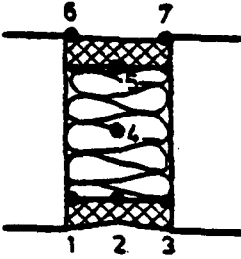
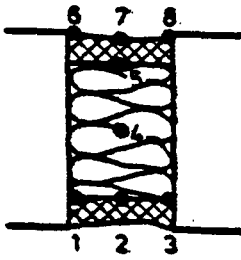
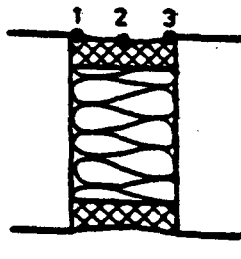
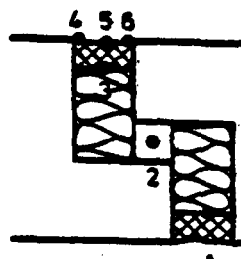
Brand - versuch Nr.	Fugen - querschnitt	Numerierung der Temperaturmeßstellen			
			Meßquerschnitt		
			I	II	III
1 ÷ 8		in der Fuge	1 ÷ 7	8 ÷ 14	15 ÷ 21
		auf der Betonoberfläche	22	23, 24	25
9 ÷ 11 13 ÷ 27		in der Fuge	1 ÷ 8	8 ÷ 16	17 ÷ 24
		auf der Betonoberfläche	25	26, 27	28
28 ÷ 33		in der Fuge	1 ÷ 3	4 ÷ 6	7 ÷ 9
		auf der Betonoberfläche	10	11, 12	13
12		in der Fuge	1 ÷ 6	7 ÷ 12	13 ÷ 18
		auf der Betonoberfläche	19	20, 21	22

Bild 3.3: Anordnung und Numerierung der Temperaturmeßstellen

3.3 Versuchsaufbau und -durchführung

3.3.1 Brandraum und Beheizung

Die Versuchskörper wurden als obere Abdeckung einer Brandkammer von 1,50 m Länge und 1,00 m Breite eingebaut. Die lichte Brandkammerhöhe betrug 1,50 m. Die innere Ausmauerung der Brandkammer (Wände und Boden) bestand aus Hartschamotte.

Die Beheizung der Versuchskörper erfolgte durch zwei Ölbrenner an einer Stirnseite der Brandkammer. Es wurde Heizöl EL nach DIN 51 603 verwendet. Die zeitliche Entwicklung der Brandraumtemperatur folgte der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102 Teil 2 /7/ bzw. ISO 834 /19/ (s. Bild 3.4). Die Flammenlänge betrug im allgemeinen 0,80 m bis 1,00 m. Die Flammenachse verlief parallel zur Fugenlängsachse, 0,75 m über dem Brandkammerboden. Die Rauchgase wurden durch einen Abzug an der zweiten Stirnseite abgesaugt. Im Bild 3.5 ist die Anordnung der Ölbrenner dargestellt. Der Druck im Brandraum betrug nach einer Anlaufzeit von ca. 5 - 10 Minuten während der gesamten Versuchsdauer 8 bis 10 Pascal.

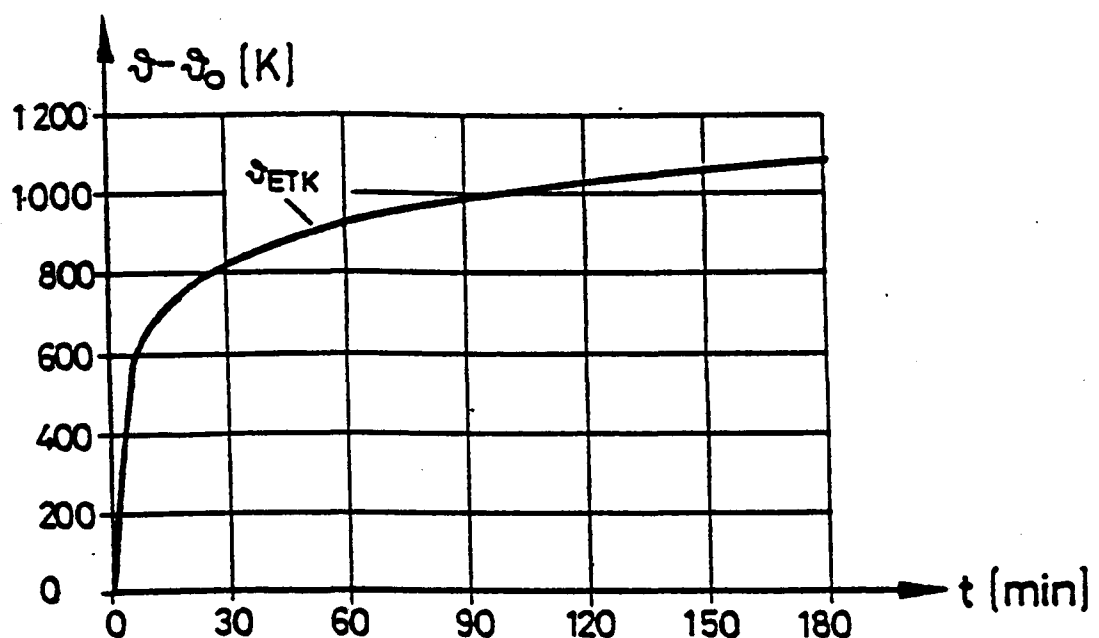


Bild 3.4: Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)

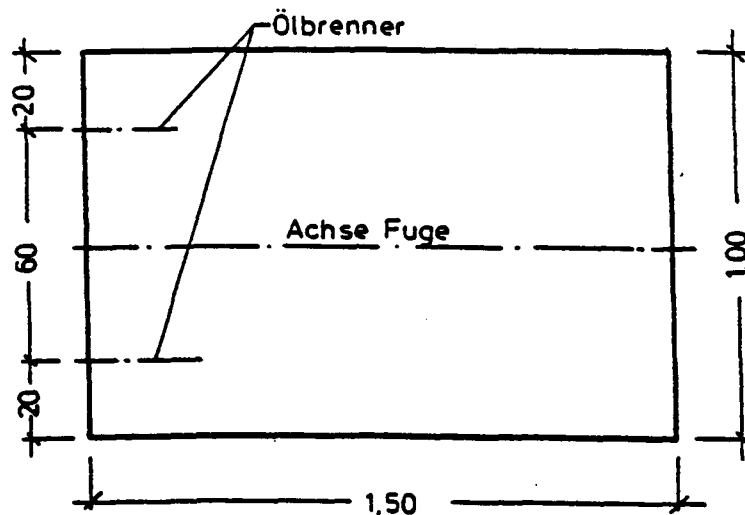


Bild 3.5: Anordnung der Ölbrenner

3.3.2 Einbau der Versuchskörper für die Brandversuche

Die Montage der Versuchskörper auf der Brandkammer erfolgte in zwei Arbeitsgängen. Zunächst wurden die geschweißten Stahlrahmen mit der untergehängten Leichtbetonplatte eingebaut. Sie wurden auf die Längswand der Brandkammer auf durchgehende Halbrund-Auflager gelegt und brandkammerseitig - je nach vorgesehener Fugenrandbewegung - entweder an der Aufhängekonstruktion befestigt (Fugenrandscherung und -verdrehung) oder in Flucht der vorderen Stahlrahmenkante auf Auflagerböcke gelegt, die auf den Brandkammer-Querwänden verschraubt waren (Fugenrandverschiebung). Im Bild 3.6 ist der Versuchsaufbau in der Draufsicht, im Bild 3.7a im Querschnitt und im Bild 3.7b im Längsschnitt (Schnittführung in der Fuge) dargestellt. Die Anlagen 3.6 und 3.7 zeigen Details zum Einbau der Versuchskörper. In der Anlage 3.6 ist der im Fugenbereich aufgehängte und in der Anlage 3.7 der auf Auflagerböcke abgestützte Versuchskörper abgebildet.

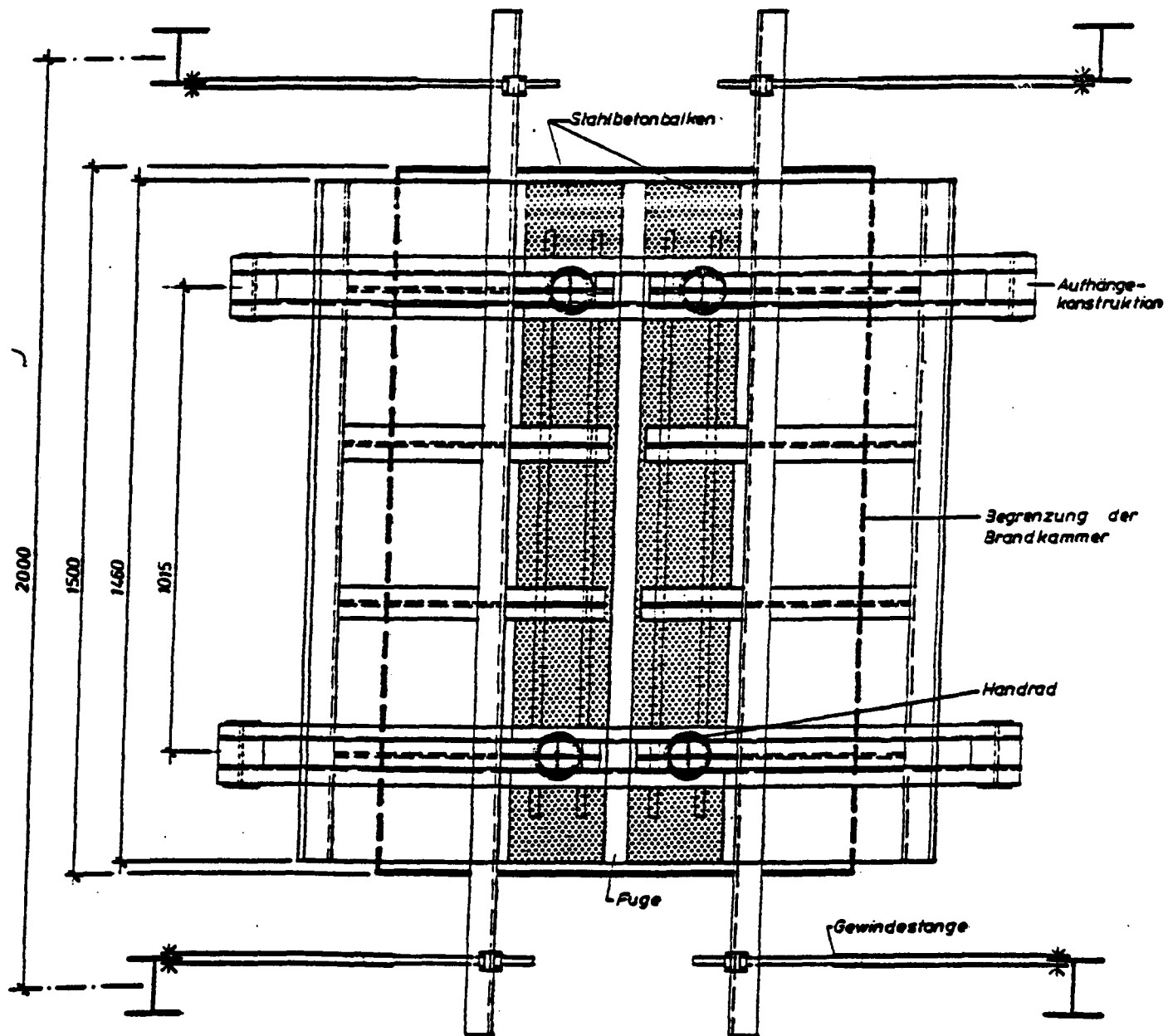


Bild 3.6: Draufsicht auf den Versuchsaufbau

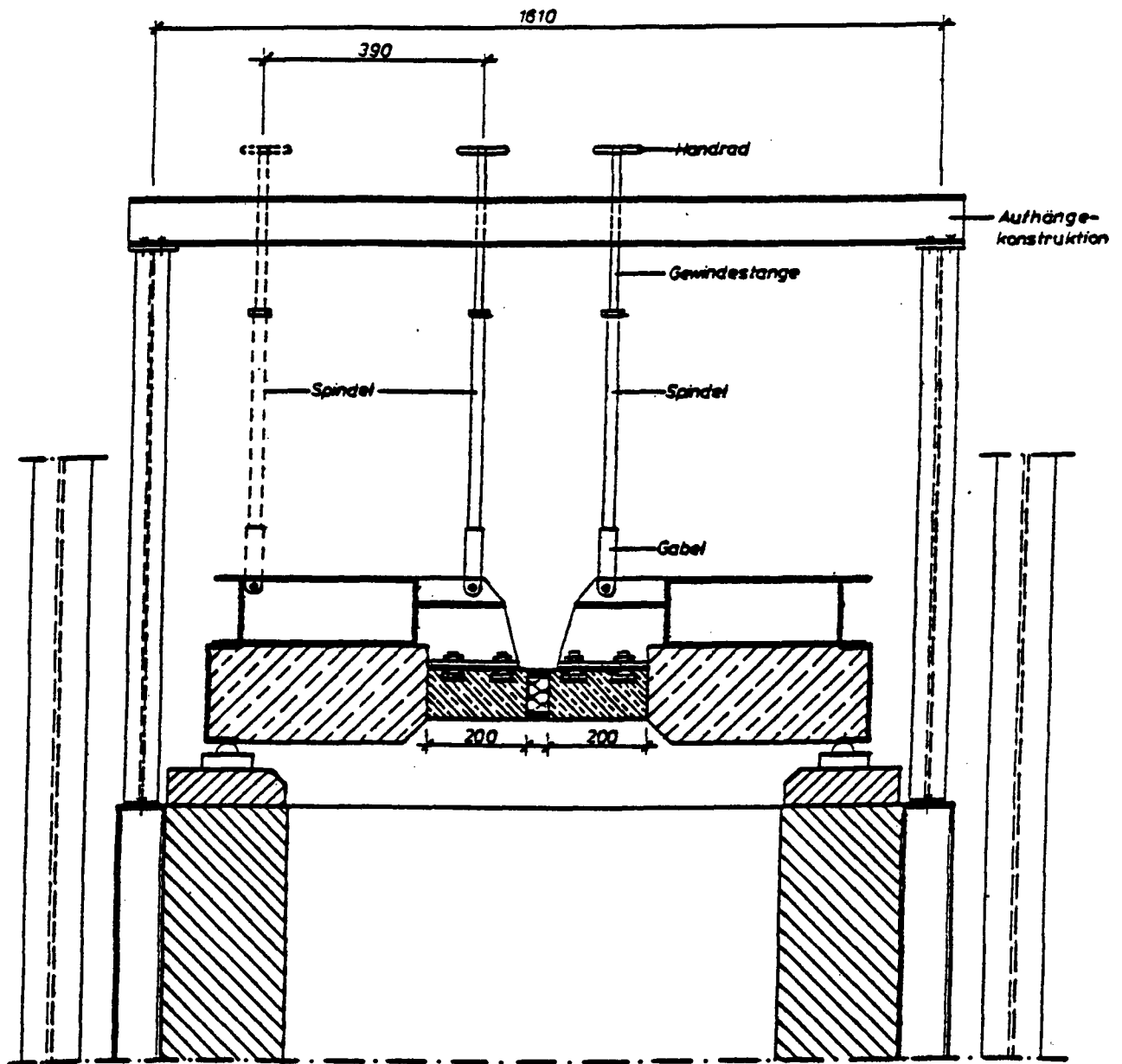


Bild 3.7a: Querschnitt durch den Versuchsaufbau

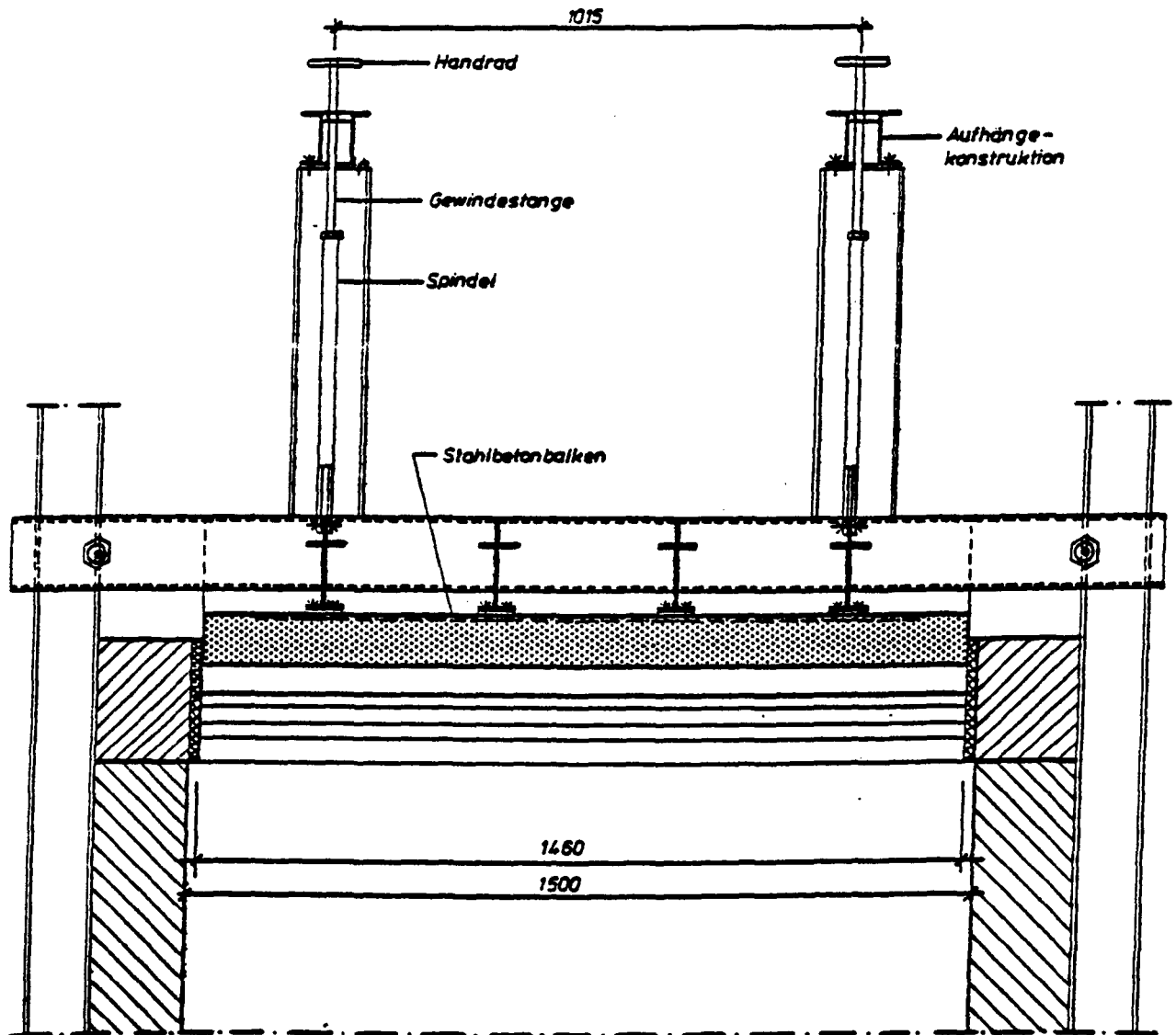


Bild 3.7b: Längsschnitt durch den Versuchsaufbau
(Schnittführung in der Fuge)

Die so auf der Brandkammer montierten Versuchskörperabschnitte blieben durchgehend für alle Brandversuche auf der Brandkammer liegen, während der eigentliche Fugenbereich, gebildet durch die beiden Stahlbetonbalken mit der dazwischen angeordneten Fugenfüllung (Fugenpakete), für jeden Brandversuch ausgewechselt wurde.

Die vorgefertigten Fugenpakete (s. Abschnitt 3.2.2) wurden zum Einbau in die bereits auf der Brandkammerwand montierten Stahlrahmen in eine speziell hierfür angefertigte Konstruktion eingehängt und in die gewünschte Lage zwischen die Stahlrahmen gefahren. Danach wurden die Stahlbetonbalken mit Halfenschrauben M 10 an vier Stellen der Stahlkonstruktion befestigt. Durch diese starre Befestigung wurden Durchbiegungen und Verdrehungen der Stahlbetonbalken während der Brandbeanspruchung verhindert, so daß die Fugenflanken nur die vorgesehene, gesteuerte Bewegung aufnehmen mußten. Die Konstruktionsfuge zwischen dem Stahlrahmen und dem Stahlbetonbalken wurde mit Litaflex-Streifen abgedichtet. Im Bild 3.8 ist das zwischen die Stahlrahmen eingebaute Fugenpaket zu erkennen.

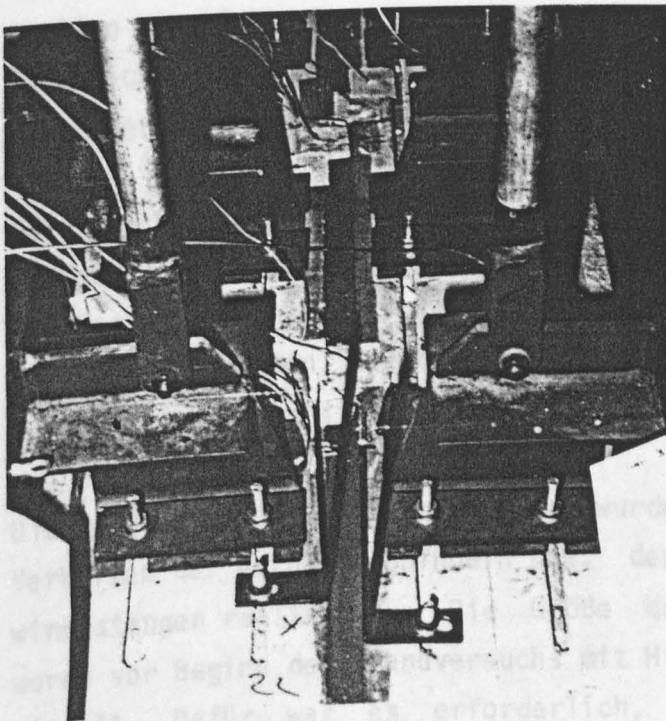


Bild 3.8: Eingebautes Fugenpaket

3.3.2.1 Steuerung der Fugenrandbewegungen

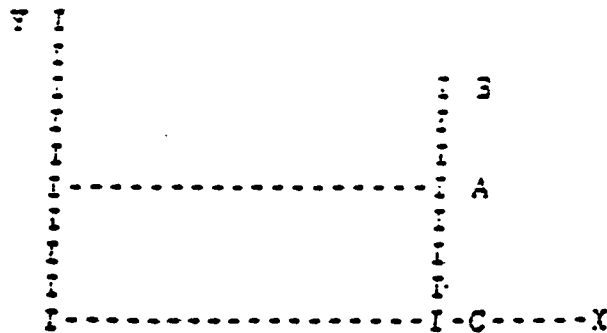
Zur Steuerung der Fugenrandverdrehung wurden die Versuchskörper im Bereich der Stahlbetonbalken jeweils an zwei Spindeln aufgehängt (s. Bild 3.7a und Bild 3.8). Diese Spindeln bestanden im unteren Teil aus einem Stahlrohr, in dessen Kopfende eine Sechskantmutter eingeschweißt war. In diese Mutter wurde ca. 200 mm tief eine Gewindestange eingeschraubt und mit ihrem freien Ende an der schon in /1/ verwendeten Aufhänge-Konstruktion gelenkig befestigt. An das untere Ende des Stahlrohres war eine Gabel angeschweißt, über die das Rohr mit einem Stahlbolzen gelenkig mit dem Versuchskörper verbunden wurde. Durch das Herausdrehen der Gewindestange aus dem Rohr wurde ein Absenken, durch Hereindrehen ein Anheben des Fugenufers erreicht (s. Bild 3.8). Zum Ausgleich der Horizontalkomponente wurden seitlich neben dem Versuchskörper angebrachte Gewindestangen verwendet. Diese Gewindestange wurde an der über die Querwand der Brandkammer hinausragende Stahlkonstruktion der Prüfkörper und an einer Stahlstütze der Brandkammer verschraubt. Die horizontale Fugenrandverschiebung bzw. der Horizontalausgleich bei der Fugenrandverdrehung wurde durch Verstellen der Schraubenmutter an der Stahlkonstruktion erreicht. Zum Ausgleich möglicher Schrägstellungen der Gewindestange wurde die Schraubenverbindung auf einer Kugelscheibe und -pfanne gelagert.

Bei ausschließlicher Fugenrandscherung wurde ein Versuchskörper fest gelagert, während der zweite an vier Spindeln aufgehängt war. Die feste Lagerung des einen Versuchskörpers wurde durch Anordnung zusätzlicher Spreizen, die den Versuchskörper unverschieblich auf das Auflager drückten, sichergestellt.

Die vorgesehene Fugenrandbewegung wurde manuell durch Verlängern oder Verkürzen der Aufhänge-Spindeln bzw. der horizontal angebrachten Gewindestangen realisiert. Die Größe der Verlängerung oder Verkürzung wurde vor Beginn des Brandversuchs mit Hilfe eines Rechenprogramms ermittelt. Dafür war es erforderlich, die geometrische Lage der Versuchskörper auf der Brandkammer sowie die Anordnung der Potentiometer und der Rollenmeßgeräte vor jedem Brandversuch zu vermessen (s. Abschnitt 3.3.4.4). Von den Potentiometern wurde die Fugenrandbewegung zur elektronischen Meßwerterfassungsanlage und gleichzeitig zu den Rollenmeßgeräten übertragen, nach deren Anzeige die manuelle Fugenrandbe-

wegung gesteuert wurde. Die Sollwerte für die Steuerung wurden im Zeitabstand von 5 Minuten aus dem vom Rechner ausgedruckten Steuerprotokoll entnommen. Im Bild 3.9 ist ein Steuerprotokoll exemplarisch für den Brandversuch 20 wiedergegeben.

FUGENVERSUCH 20



HORIZONTALVERSCHIEBUNG XA= 0 = CONST

EINGABE	KOORDINATEN	XA	YA	XB	YB
	FUGENUFER	814.00	151.00	813.00	372.00
	MESSUHR 1	-86.00	363.00		
	MESSUHR 2	814.00	967.00		
VERDREHUNG N.	30.MIN		0.04000		
VERDREHUNG N.	90.MIN		0.08000		
HORIZ. VERSCHIEBUNG N.	30.MIN		0.00000		
HORIZ. VERSCHIEBUNG N.	90.MIN		0.00000		

ZEIT	WINKEL	D1	D2
0.	0.000000E 00	0.00000	0.00012
5.	-.666667E-02	1.53017	4.10536
10.	-.133333E-01	3.12390	8.21869
15.	-.200000E-01	4.72119	12.33348
20.	-.266667E-01	6.34167	16.46753
25.	-.333333E-01	7.98547	20.60364
30.	-.400000E-01	9.65234	24.74792
35.	-.433333E-01	10.49488	26.82324
40.	-.466667E-01	11.34204	28.90076
45.	-.500000E-01	12.19556	30.98047
50.	-.533334E-01	13.05469	33.06238
55.	-.566667E-01	13.91943	35.14661
60.	-.600000E-01	14.78992	37.23315
65.	-.633334E-01	15.66602	39.32202
70.	-.666667E-01	16.54773	41.41321
75.	-.700001E-01	17.43506	43.50666
80.	-.733334E-01	18.32800	45.60303
85.	-.766668E-01	19.22668	47.70166
90.	-.800001E-01	20.13074	49.80286
95.	-.833334E-01	21.04053	51.90662
100.	-.866668E-01	21.95533	54.01294

Bild 3.9:
Steuerprotokoll
für den
Brandversuch 20

3.3.3 Einbau der Versuchskörper für die Alterungsversuche

Die vorbereiteten Fugenpakete wurden nach etwa sechsmonatiger Lagerung horizontal (Stahlbetonbalken unten, Fuge, Stahlbetonbalken oben) in den für die Alterungsversuche entworfenen Versuchsstand eingebaut. Der Versuchsstand bestand aus einem senkrecht stehenden geschlossenen Stahlrahmen, zwischen dessen Pfosten die Fugenpakete lagen. Der untere Stahlbetonbalken wurde fest mit dem unteren Joch des Rahmens verbunden. An das obere Joch wurde ein auf Zug- und Druckwirkung ausgelegter Zylinder gehängt. Über ein spezielles Gestänge wurde der Zylinder an dem oberen Stahlbetonbalken angeschlossen. Im Bild 3.10 wird das eingebaute Fugenpaket dargestellt.

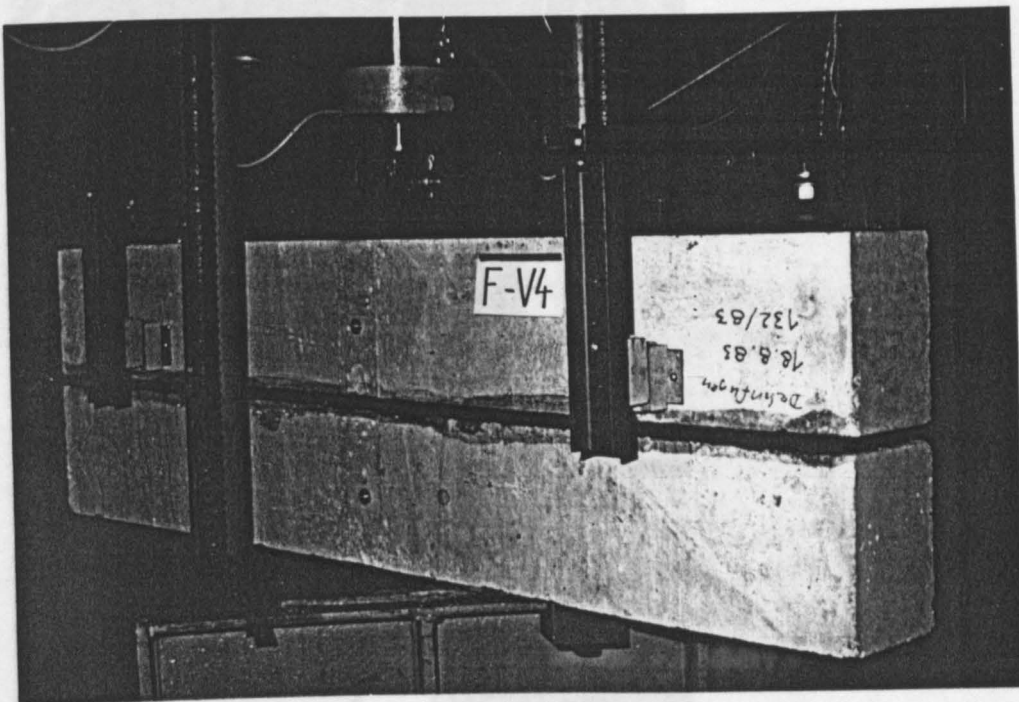


Bild 3.10: Versuchsstand für die Alterungsversuche:
eingebautes Fugenpaket

Die vorgesehene künstliche mechanische Alterung wurde durch 18.000faches Hochziehen und Runterdrücken des oberen Stahlbetonbalkens erreicht. In jedem Lastwechsel wurde die Fuge um 10 mm gestaucht und anschließend um 20 % über die Ausgangsbreite aufgezo-gen. Jeder Lastwechsel dauerte 20 Sekunden.

Um zu verhindern, daß sich der obere Stahlbetonbalken während der Alterungsversuche um die senkrechte Achse schiefstellt, z.B. infolge ungleichmäßigen Aufreißen des Fugendichtungsmaterials, wurde der obere Balken in einer Führungsgabel geführt, deren Abstandshölzer mit Teflon beschichtet waren. Im Bild 3.11 sind die Führungsgabel und die beschichteten Abstandshölzer zu erkennen. Außerdem ist die Stahlkonstruktion abgebildet, die ein Aufreißen der Fuge über das vorgesehene Maß verhinderte, wenn sich der obere Balken um die horizontale Achse schief stellte.

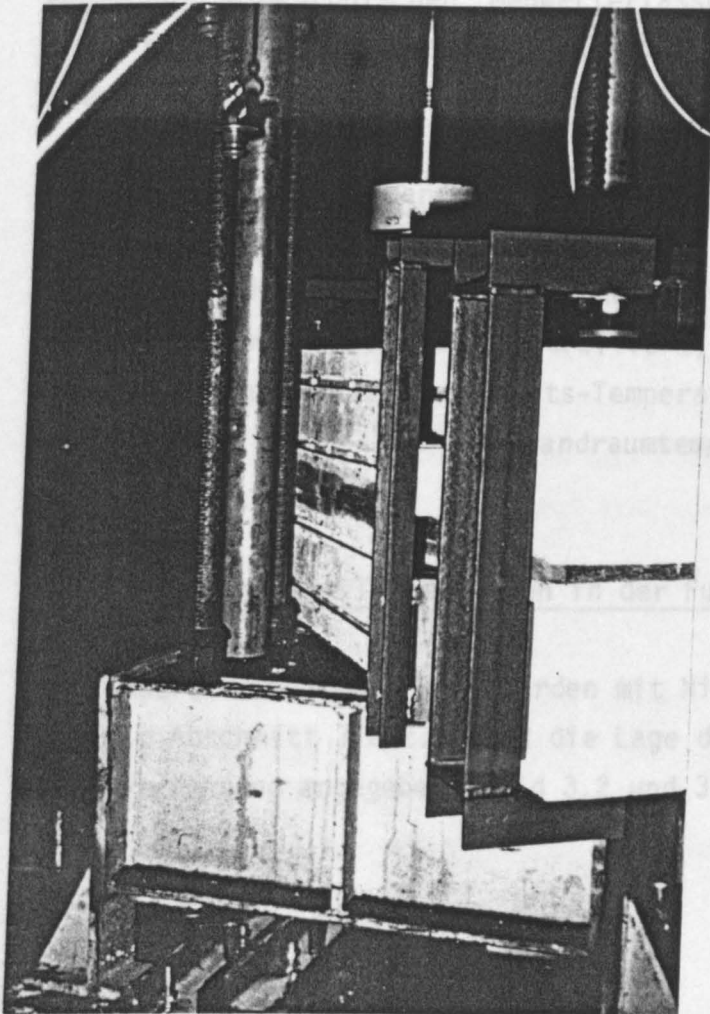


Bild 3.11: Versuchsstand für die Alterungsversuche: Führungsgabel, Abstandshölzer und Begrenzungs-konstruktion

3.3.4 Meßprogramm bei den Brandversuchen

Das Meßprogramm umfaßte die Aufnahme der Temperaturen im Versuchskörper und im Brandraum. Außerdem wurden die Fugenrandbewegungen gemessen.

3.3.4.1 Meßwerterfassung

Die Meßdaten der Temperaturen und Fugenrandbewegungen wurden im Abstand von einer Minute von einer Vielstellenmeßanlage erfaßt und auf eine Magnetkassette aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die Daten zum direkten Zugriff auf Thermopapier ausgedruckt sowie auf einem Monitor ausgegeben. Die Aufzeichnungen der Magnetkassette wurden nach Versuchsende zur rechnergestützten Datenauswertung benutzt.

Neben der elektronischen Meßwerterfassungsanlage wurde ein Kompenso-graph mit angeschlossenem 12-Kanal-Punkt-drucker zur Aufzeichnung und Steuerung der Brandraumtemperaturen eingesetzt.

3.3.4.2 Messung der Brandraumtemperaturen

Mit NiCr-Ni-Thermoelementen (Durchmesser 3 mm) wurde an sechs Meßstellen die Brandraumtemperatur kontrolliert, wobei die Meßwerte gleichzeitig zur Steuerung der Einheits-Temperaturzeitkurve dienten. Aus Bild 3.12 ist die Lage der Brandraumtemperatur-Meßstellen zu ersehen.

3.3.4.3 Messung der Temperaturen in der Fuge

Die Temperaturen in der Fuge wurden mit NiCr-Ni-Thermoelementen gemessen. Im Abschnitt 3.2.2.1 sind die Lage der Temperaturmeßstellen sowie ihre Bezeichnung angegeben (Bild 3.2 und 3.3).

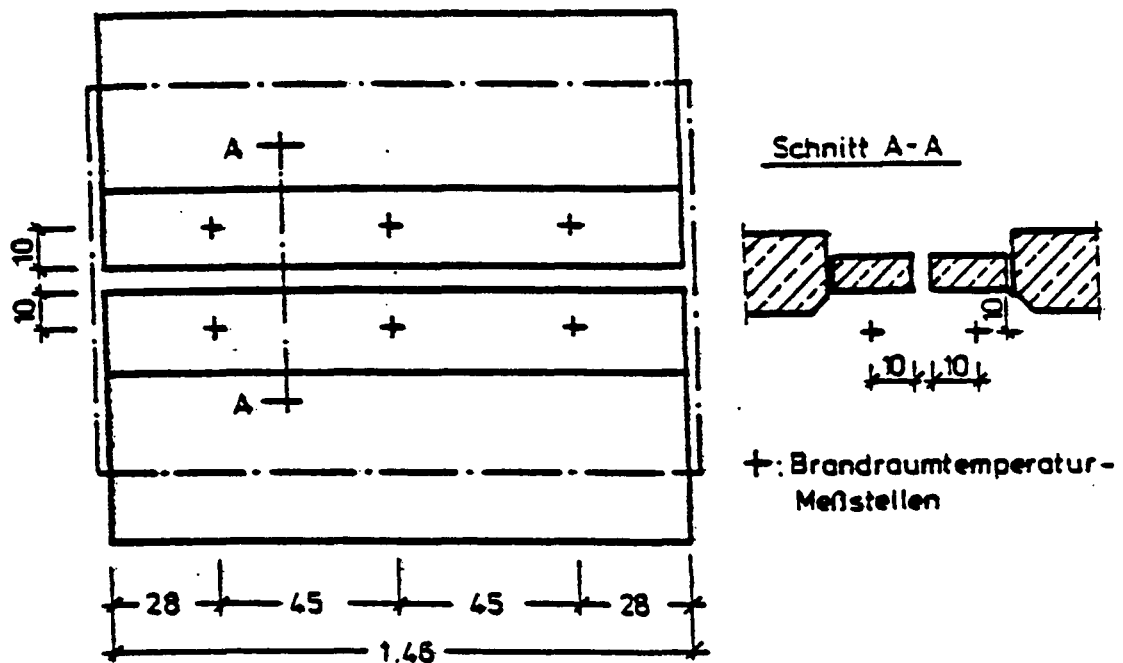


Bild 3.12: Lage der Brandraumtemperatur-Meßstellen

3.3.4.4 Messung der Fugenrandbewegung

Die Messung der Fugenrandbewegungen wurde bei den Brandversuchen 1 bis 4, bei denen ausschließlich Fugenrandverschiebungen aufgebracht wurden, mit dem in /1/ beschriebenen Verfahren durchgeführt. Ab Brandversuch 5 wurden auch Fugenrandverdrehungen und -versätze geprüft. Dafür wurden die Meßverfahren aus /1/ erweitert und verbessert.

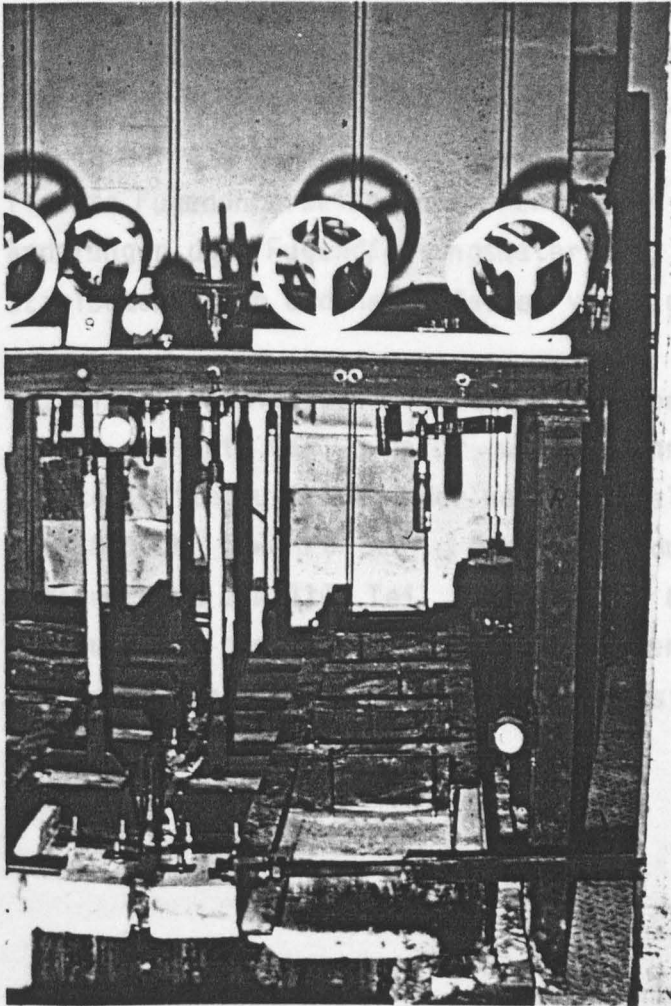
Brandversuch 1 - 4

Zur Messung der Fugenrandbewegung wurden zwei feine Stahldrähte an einem der Stahlbetonbalken befestigt. Hierzu wurden in das fugennahe Halfeneisen Halfenschrauben geschraubt, an denen die Drahtenden befestigt wurden. Bei dem zweiten Stahlbetonbalken an das fugennahe Halfeneisen wurden Umlenkrollen befestigt, über die die Stahldrähte zu Rollenmeßgeräten geführt wurden.

Brandversuche 5 - 33

Auf jedem Stahlbetonbalken wurden zwei Stahlwinkel so aufgeschraubt, daß der aufrechte Schenkel bündig mit der Fugenkante abschloß. An den oberen Enden dieser Schenkel wurden jeweils zwei feine Stahldrähte befestigt. Der eine Draht wurde nach oben zu einem am Riegel der Aufhängekonstruktion befestigten Drehpotentiometer geführt und diente zur Messung der vertikalen Bewegungskomponente. Der andere Draht wurde nach hinten zu einem an einer Stütze der Aufhängekonstruktion angebrachten Drehpotentiometer geführt und diente zur Messung der horizontalen Bewegungskomponente. Die Potentiometer waren so angebracht, daß die Drähte möglichst rechtwinklig geführt wurden. Von den Potentiometern aus wurden die Stahldrähte zu Rollenmeßgeräten weitergeführt, um eine kontinuierliche Anzeige der Bewegungskomponenten während der Brandversuche zu erhalten. Das Bild 3.13 gibt einen Überblick über die Meßeinrichtungen zur Steuerung der Fugenrandbewegungen.

3.3.5 Sonstige Beobachtungen



Verhalten der Fuge augen-
Ergänzend zu den Beobachtun-
Fugenoberseite wurde die be-
den Brandkammerwänden auf Ver-
eventuelle Ablösungen an den
enfüllmaterial hin beobachtet.

reich geprüft, ob der Raumab-
heiße Gase auf der feuerabge-
bestanden, ob der Raumab-
ungsversuch mit dem Mattebausch
6.2.6 /7/ durchgeführt. Außer-
Gase eine Lunte gebracht, um
ad (DIN 4102 Teil 2, Abschnitt

Bild 3.13: Meßeinrichtung zur Steuerung der Fugenrandbewegungen

3.3.5 Sonstige Beobachtungen

Während der gesamten Branddauer wurde das Verhalten der Fuge augenscheinlich beobachtet und protokolliert. Ergänzend zu den Beobachtungen an der nichtbeflammten, zugänglichen Fugenoberseite wurde die beflammete Fugenunterseite durch Fenster in den Brandkammerwänden auf Veränderungen des Fugendichtungsmaterials, eventuelle Abplatzungen an den Stahlbetonbalken und Herausfallen von Fugenfüllmaterial hin beobachtet.

Bei allen Brandversuchen wurde im Fugenbereich geprüft, ob der Raumabschluß gewahrt war. Dafür wurde, wenn heiße Gase auf der feuerabgekehrten Seite austraten oder wenn Zweifel bestanden, ob der Raumabschluß noch gewahrt war, der Entzündungsversuch mit dem Wattebausch entsprechend DIN 4102 Teil 2, Abschnitt 6.2.6 /7/ durchgeführt. Außerdem wurde in den Bereich der austretenden Gase eine Lunte gebracht, um festzustellen, ob die Gase entzündbar sind (DIN 4102 Teil 2, Abschnitt 6.2.7).

4 Versuchsergebnisse

4.1 Brandraumtemperatur

In allen Brandversuchen wurde die Einheits-Temperaturzeit-Kurve gemäß DIN 4102 Teil 2 /7/ im zulässigen Toleranzbereich eingehalten. In Anlage 4.150 sind exemplarisch die Meßwerte von Versuch 31 dargestellt.

4.2 Temperatur in den Versuchskörpern

Die Meßergebnisse der Fugen-Oberflächen-Temperaturen sind in den Anlagen 4.1 bis 4.33, die des Temperaturverlaufs im Fugenquerschnitt in den Anlagen 4.41 bis 4.67 und die Beton-Oberflächen-Temperaturen in den Anlagen 4.72 bis 4.103 dargestellt.

4.3 Einhaltung der vorgegebenen Steuerfunktion

Die vorgegebene Steuerfunktion wurde bei fast allen Versuchen sehr genau nachgesteuert. In der Anlage 4.151 sind exemplarisch Steuerfunktion und Meßwerte für den Versuch 6 dargestellt. Bei den Versuchen 9, 16 und 29 traten zum Teil große Steuerfehler auf, so daß diese Versuche nicht bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse im Hinblick auf eine Anwendung in der Praxis (Abschnitt 5) herangezogen wurden.

4.4 Beobachtungen während der Brandversuche

Einige Beobachtungen wiederholten sich bei allen Versuchen. Sie werden den Einzelversuchsbeobachtungen vorangestellt.

4.4.1 Wasseraustritt auf der Balkenoberseite

Die meisten Balken wurden zweimal in den Brandversuchen eingesetzt. Für den zweiten Einsatz wurden die Stahlbetonbalken so eingebaut, daß die vorher an der Leichtbetonplatte anliegende Balkenseite das neue Fugenufer bildete. Diese Seite wurde beim Ersteinsatz durch Einlegen von Schaumasbeststreifen in den Spalt zwischen Leichtbetonplatte und Stahlbetonbalken (2 - 4 mm) vor Erwärmung geschützt.

Beim Ersteinsatz zeigten sich auf den Stahlbetonbalkenoberseiten ab der

20. Minute feuchte Stellen. Im weiteren Versuchsverlauf vergrößerte sich der Wasseraustritt, und das Wasser sammelte sich ab der 35. Minute in den Halfenschienen. In der 50. Minute hatte der Wasseraustritt sich so stark verringert, daß nur noch feuchte Stellen auf den Balken zu sehen waren, und zwischen der 65. und 70. Minute waren die Balkenoberflächen dann abgetrocknet.

Beim zweiten Einsatz zeigten die Balken nur noch geringen Feuchtigkeitsaustritt. Die Feuchtigkeit trat ca. ab der 45. Minute auf und war innerhalb von 15 Minuten nach dem Erscheinen wieder abgetrocknet.

4.4.2 Fugendichtungsmasse

Die auf der dem Feuer zugekehrten Seite angeordnete Fugendichtungsmasse wurde nach 2 bis 4 Minuten blasig und platzte auf. Kurz darauf (3. bis 7. Versuchsminute) erfolgte die Zündung, und dann brannte die Fugendichtungsmasse bis ca. zur 21. Versuchsminute über die ganze Fugenlänge. Die verbleibende Fugendichtungsmasse verfärbte sich bis auf vier Ausnahmen schneeweiß und bildete eine poröse, rissige, nach Versuchsende leicht abzulösende Schicht an der Fugenunterseite. Oftmals waren auch die Balkenunterseiten durch Verbrennungsrückstände der Fugendichtungsmasse mit einer dünnen, weißen Schicht belegt. Bei den Versuchen 1, 9, 12 und 25 bildeten sich dunkelgraue flockige Fladen mit schwarzen Fäden. Eine Erklärung für das unterschiedliche Verhalten der Fugendichtungsmasse konnte bisher nicht gefunden werden; das unterschiedliche Verhalten hatte auf das Brandverhalten der Fuge keinen Einfluß.

Auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Fuge begann sich die sonst durchsichtige Fugendichtungsmasse ab der 23. bis 40. Minute leicht milchig zu verfärben und war dann in der 35. bis 50. Versuchsminute durchgehend milchig und undurchsichtig.

Abrisse der Fugendichtungsmasse von den Fugenflanken vor und während der Versuche sind in den besonderen Beobachtungen (Abschnitt 4.4.3) aufgeführt.

4.4.3 Besondere Beobachtungen

Die wichtigsten der während der Brandversuche aufgezeichneten Beobachtungen, insbesondere über Temperaturmessungen mit dem Wanderelement, Abrisse der Fugendichtungsmasse von den Fugenflanken, Feststellen entzündbarer Gase sowie Prüfung des Raumabschlusses mit dem Wattebausch sind den Anlagen 4.111 bis 4.143 zu entnehmen.

4.5 Auswertung der Versuchsergebnisse

Insgesamt wurden 33 Brandversuche durchgeführt. Sie sind in den folgenden Abschnitten tabellarisch nach den verschiedenen Fugenrandbewegungen geordnet. Am Schluß werden die Brandversuche mit künstlich gealterten Fugen aufgeführt.

Im linken Teil der Tabellen sind konstruktive Einzelheiten über den Fugenaufbau sowie Angaben über die Fugenbreite zum Zeitpunkt der Fugenausbildung bei Brandbeginn und nach 90 Minuten Branddauer enthalten. Außerdem ist dort angegeben, mit welcher Dicke d_w der Fugenfüllstoff eingebaut wurde.

Auf der rechten Seite der Tabellen sind die Versuchsbeobachtungen zusammengefaßt, die für eine Beurteilung der Fuge nach DIN 4102 Teil 2 /7/ beachtet werden müssen. Danach gelten als Versagenskriterium für die Fuge:

- Durchgang des Feuers auf der feuerabgekehrten Seite der Fuge und
- Temperaturerhöhung an einer Meßstelle auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche der Fuge von mehr als 180 K über die Anfangstemperatur.

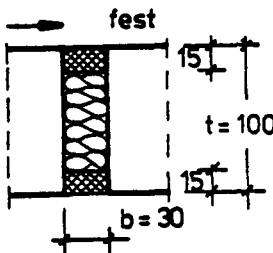
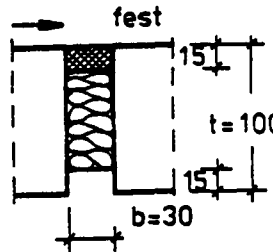
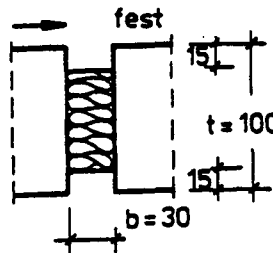
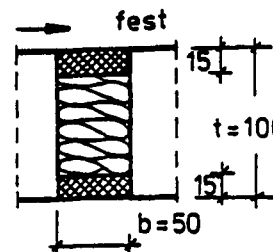
Außerdem wurde als Versagenskriterium für die Fuge festgesetzt:

- Anstieg der Temperatur auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche der Fuge im Mittel um mehr als 140 K über die Anfangstemperatur.

Für die Bestimmung des Mittelwertes wurde das arithmetische Mittel aus allen Temperaturmeßstellen der Fugenoberfläche gebildet.

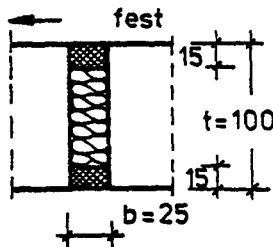
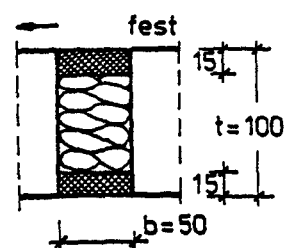
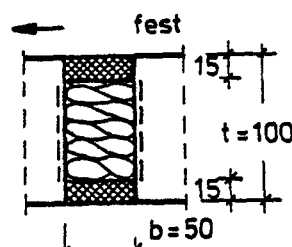
4.5.1 Horizontal schließende Fugenrandverschiebung

Tabelle 4.1: Versuchsergebnisse bei horizontal schließender Fugenrandverschiebung

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 1</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 20 = 50 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit:</u> > 100. Minute</p> <p>Während der gesamten Versuchsdauer (100 Minuten) wurde kein Versagenskriterium nach DIN 4102 festgestellt</p>
<p>Versuch 2</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 20 = 50 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit:</u> > 95. Minute</p> <p>Während der gesamten Versuchsdauer (95 Minuten) wurde kein Versagenskriterium nach DIN 4102 festgestellt</p>
<p>Versuch 3</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit:</u> 79. Minute</p> <p>In der 79. Versuchsminute überschreitet der Mittelwert aus den an der Fugenoberfläche gemessenen Temperaturen zu $\Delta T = 140 \text{ K}$.</p> <p>In der 85. Minute wird die zulässige Temperaturerhöhung für den Einzelwert zu $\Delta T_{\max} = 180 \text{ K}$ von Meßstelle 20 überschritten</p>
<p>Versuch 4</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90} = 52 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit:</u> > 103. Minute</p> <p>Während der gesamten Versuchsdauer (103 Minuten) wurde kein Versagenskriterium nach DIN 4102 festgestellt</p>

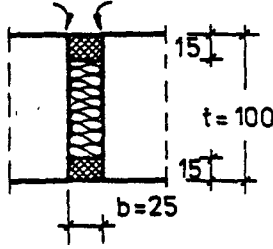
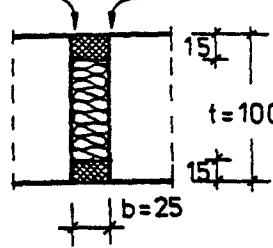
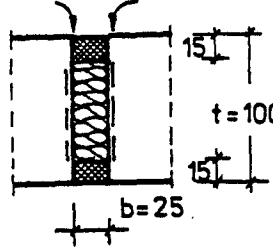
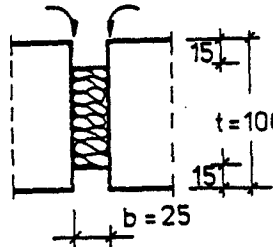
4.5.2 Horizontal öffnende Fugenrandverschiebung

Tabelle 4.2: Versuchsergebnisse bei horizontal öffnender Fugenrandverschiebung

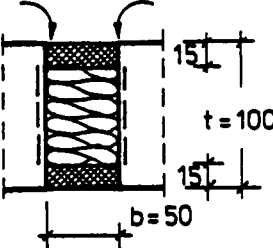
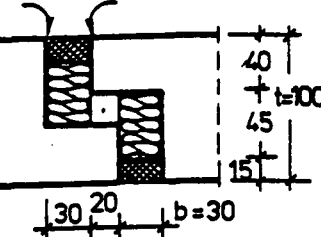
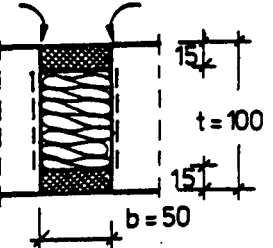
Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 14</p>  <p> $b_0 = 25 \text{ mm}$ $b_{90} = 34 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 71. Minute</p> <p>In der 71. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 22 die zul. Einzelwerterhöhung $\Delta T_{\max} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Die maximal zulässige Mittelwerterhöhung zul $\Delta T = 140 \text{ K}$ an der Fugenoberfläche wird in der 88. Minute überschritten</p>
<p>Versuch 15</p>  <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90} = 59 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 70. Minute</p> <p>In der 70. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 24 die zulässige Einzelwerterhöhung $\Delta T_{\max} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Die maximal zulässige Mittelwerterhöhung zul $\Delta T = 140 \text{ K}$ an der Fugenoberfläche wird in der 72. Minute überschritten</p>
<p>Versuch 22</p>  <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90} = 59 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 93. Minute</p> <p>Mit dem Wanderelement werden in der 93. Minute am Fugenufer maximal 205 K über der Anfangstemperatur gemessen.</p> <p>In der 95. Minute überschreitet Meßstelle 24 den zul. Einzelwert zul $\Delta T_{\max} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 96. Minute überschreitet der Mittelwert der Oberflächentemperatur zul $\Delta T = 140 \text{ K}$.</p>

4.5.3 Verdrehung beider Fugenufer nach unten

Tabelle 4.3: Versuchsergebnisse bei Verdrehung beider Fugenufer nach unten

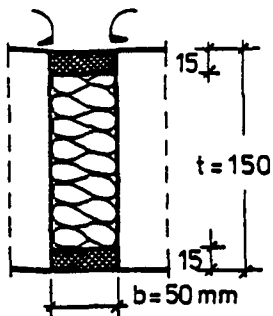
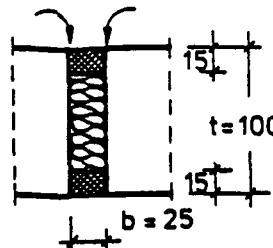
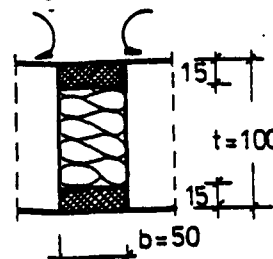
Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 5</p> <p>Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 44. Minute</p> <p>Mit dem Wanderelement werden in der 44. Minute am Fugenufer max. 218 K über der Anfangstemperatur gemessen.</p> <p>In der 45. Minute überschreitet Meßstelle 21 die max. zul. Einzelwerttemperaturerhöhung zul $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p>
<p>Versuch 6</p> <p>Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 75. Minute</p> <p>Mit dem Wanderelement werden in der 75. Minute am Fugenufer max. 235 K über der Anfangstemperatur gemessen.</p> <p>In der 96. Minute überschreitet der Mittelwert der Meßstellen an der vom Feuer abgekehrten Seite zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$.</p>
<p>Versuch 7</p> <p>Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p>	<p>Versagenszeit: > 102. Minute</p> <p>Während der gesamten Versuchsdauer von 102 Minuten wurde kein Versagenskriterium nach DIN 4102 festgestellt</p>
<p>Versuch 8</p> <p>Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 39. Minute</p> <p>In der 39. Minute überschreitet Meßstelle 19 die max. zul. Einzelwerterhöhung zul $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Die zul. Mittelwerterhöhung der Fugenoberflächentemperaturen überschreitet zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$ in der 47. Minute.</p> <p>In der 60. Minute werden mit dem Wanderelement max. 210 °C gemessen (Ausgangstemperatur = 19 °C)</p>

Fortsetzung Tabelle 4.3

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 10 Funktion I</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 49. Minute</p> <p>Mit dem Wanderelement werden in d. 49. Minute am Fugenufer an einer Stelle max. 322 °C, an einer weiteren 240 °C gemessen (Ausgangstemperatur = 20 °C).</p> <p>In der 62. Minute wird die max. zul. Einzelwerterhöhung $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$ überschritten.</p> <p>In der 66. Minute geht der Raumabschluß (Wattebauschtest) verloren.</p> <p>In der 67. Minute wird die max. zul. Mittelwerterhöhung $\Delta T = 140 \text{ K}$ überschritten.</p> <p>Die Betonrandtemperatur (Meßstelle 27) überschreitet in der 69. Minute zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p>
<p>Versuch 12 Funktion I</p>  <p> $b_o = 35 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 35 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 96. Minute</p> <p>In der 96. Minute überschreitet Meßstelle 18 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Die Betonrandtemperatur (Meßstelle 22) überschreitet in der 97. Minute zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Die max. zul. Mittelwerttemperaturerhöhung wird in der 98. Minute überschritten.</p>
<p>Versuch 13 Funktion I</p>  <p> $b_o = 50 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 50 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 78. Minute</p> <p>In der 78. Minute überschreitet die Mittelwerttemperaturerhöhung zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$.</p> <p>In der 80. Minute überschreiten Meßstelle 16 und 24 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>Meßstelle 26 und 28 (Betonrand) überschreiten zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$ in der 98. Minute.</p>

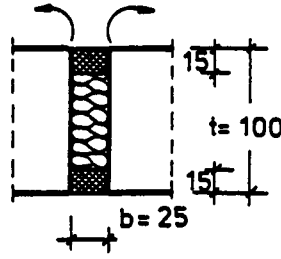
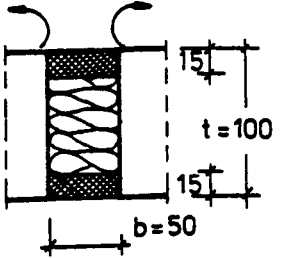
(Fortsetzung nächste Seite)

Fortsetzung Tabelle 4.3

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 23 Funktion I</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ $t = 150$ $b = 50 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 38. Minute</p> <p>Mit dem Wanderelement werden in der 38. Minute bei Meßquerschnitt 2 maximal 390 °C gemessen (Anfangstemperatur = 17 °C).</p> <p>In der 45. Minute überschreitet Meßstelle 22 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 46. Minute geht der Raumabschluß (Wattebauschtest) verloren.</p> <p>Meßstelle 26 (Betonrand) überschreitet zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$ in der 52. min.</p>
<p>Versuch 11 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ $t = 100$ $b = 25$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 94. Minute</p> <p>In der 94. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 27 (Betonrand) zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 107. Versuchsminute wird die max. zul. Erhöhung des Mittelwertes der an der Fugenoberfläche gemessenen Temperaturen (zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$) überschritten.</p>
<p>Versuch 24 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ $t = 100$ $b = 50$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 37. Minute</p> <p>In der 37. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 22 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 41. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 365 °C gemessen ($\Delta T = 346 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 46. Versuchsminute wird die max. zul. Erhöhung des Mittelwertes der an der Fugenoberfläche gemessenen Temperaturen (zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$) überschritten.</p>

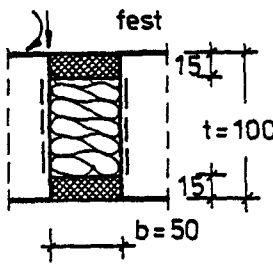
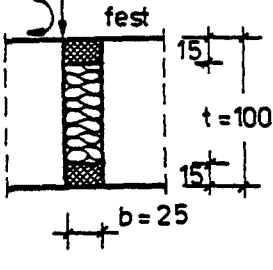
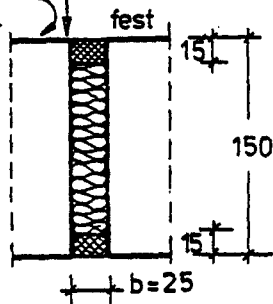
4.5.4 Verdrehung beider Fugenufer nach oben

Tabelle 4.4: Versuchsergebnisse bei Verdrehung beider Fugenufer nach oben

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 19 Funktion I</p>  <p> $b_o = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 62. Minute</p> <p>In der 62. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement 230°C gemessen ($\Delta T = 211 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 73. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 8 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 79. Versuchsminute wird die max. zul. Erhöhung des Mittelwertes der an der Fugenoberfläche gemessenen Temperaturen (zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$) überschritten.</p>
<p>Versuch 25 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 40. Minute</p> <p>In der 40. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement $> 300^\circ\text{C}$ gemessen ($\Delta T > 280 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 44. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 22 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 52. Versuchsminute geht der Raumabschluß (Flammen an einem Fugenufer verloren).</p>

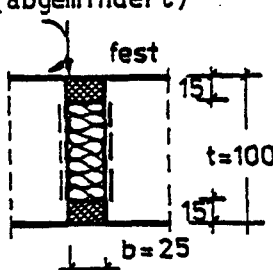
4.5.5 Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach unten

Tabelle 4.5: Versuchsergebnisse bei Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach unten

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 17</p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 36. Minute</p> <p>In der 36. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement max. 270 °C gemessen ($\Delta T = 248 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 44. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 6, in der 48. Minute Meßstelle 14 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p> <p>In der 56. Versuchsminute wird die max. zul. Erhöhung des Mittelwertes der an der Fugenoberfläche gemessenen Temperaturen (zul. $\Delta T = 140 \text{ K}$) überschritten.</p>
<p>Versuch 18</p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 70. Minute</p> <p>In der 70. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 215 °C gemessen ($\Delta T = 198 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 77. Versuchsminute überschreiten Meßstelle 6 und 26 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p>
<p>Versuch 20</p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: > 100. Minute</p> <p>Während der gesamten Versuchsdauer (100 Minuten) wurde kein Versagenskriterium nach DIN 4102 festgestellt.</p>

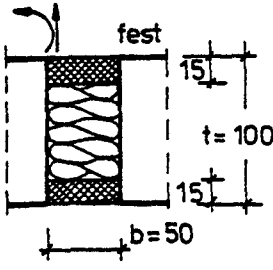
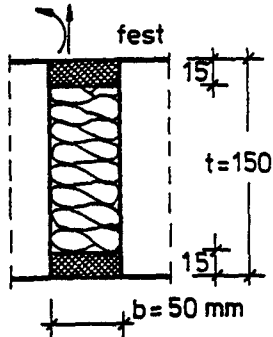
(Fortsetzung nächste Seite)

Fortsetzung Tabelle 4.5

Aufbau	Bemerkungen
<p><u>Versuch 21</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p>fest</p> <p>15</p> <p>t=100</p> <p>15</p> <p>b=25</p> <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$</p> <p>$b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$</p> <p>$d_w = 1,2 \cdot b + 10$</p> <p>$= 40 \text{ mm}$</p> <p>beidseitig geklebt</p>	<p><u>Versagenszeit: 53. Minute</u></p> <p>In der 53. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 250 °C gemessen ($\Delta T = 230 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p>

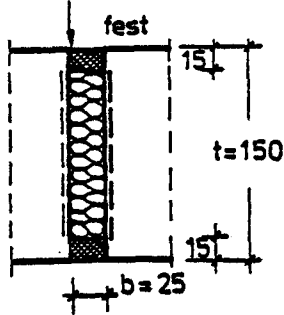
4.5.6 Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach oben

Tabelle 4.6: Versuchsergebnisse bei Verdrehung mit Scherung eines Fugenufers nach oben

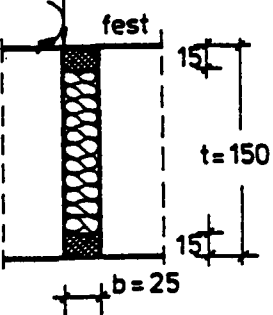
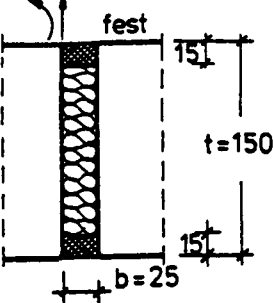
Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 26</p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 62. Minute</p> <p>In der 62. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 240 °C (am Stoß: 440 °C) gemessen ($\Delta T_{\text{max}} = 218 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 69. Versuchsminute überschreiten Meßstelle 27 und 28 (Betonrand) zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p>
<p>Versuch 27</p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p>Versagenszeit: 42. Minute</p> <p>In der 42. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 240 °C gemessen ($\Delta T = 220 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p>

4.5.7 Scherung eines Fugenufers nach unten

Tabelle 4.7: Versuchsergebnisse bei Scherung eines Fugenufers nach unten

Aufbau	Bemerkungen
<p>Versuch 33</p>  <p>fest</p> <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{g0} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ $t = 150$ $b = 25$ beidseitig geklebt</p>	<p>Versagenszeit: 72. Minute</p> <p>In der 72. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement max. 240 °C gemessen ($\Delta T = 222 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p> <p>In der 77. Versuchsminute überschreitet Meßstelle 4 zul. $\Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$.</p>

Fortsetzung Tabelle 4.8

Aufbau	Bemerkungen
<p><u>Versuch 31</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit: 83. Minute</u></p> <p>In der 83. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 210 °C gemessen ($\Delta T = 189 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$).</p>
<p><u>Versuch 32</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p>	<p><u>Versagenszeit: 100. Minute</u> ^{*)}</p> <p>In der 100. Versuchsminute werden mit dem Wanderelement maximal 280 °C ($\Delta T = 261 \text{ K} > \text{zul. } \Delta T_{\text{max}} = 180 \text{ K}$) gemessen.</p> <p>^{*)} Der Stoßbereich versagt schon in der 57. Minute.</p>

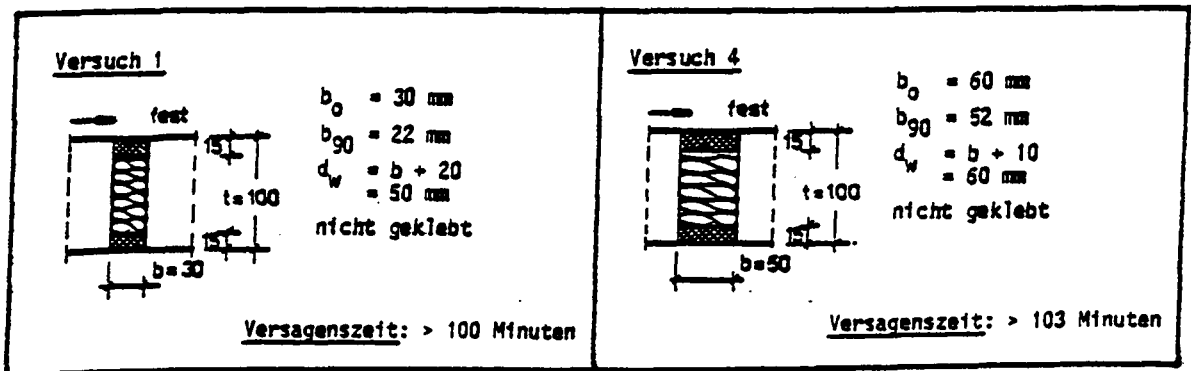
4.6 Einfluß der verschiedenen Parameter

Im folgenden wird der Einfluß der Parameter Fugenbreite, Fugentiefe, Dicke des Fugenfüllstoffs im Verhältnis zur Fugenweite, Ankleben des Fugenfüllstoffs an die Fugenflanken, Anordnung von Fugendichtungsmasse und der Einfluß einer künstlichen mechanischen Alterung auf das Brandverhalten der Fugenkonstruktion untersucht. Alle am Ende der Unterabschnitte gezogenen Schlußfolgerungen gelten zunächst nur für die im Brandversuch geprüfte Fugenausbildung.

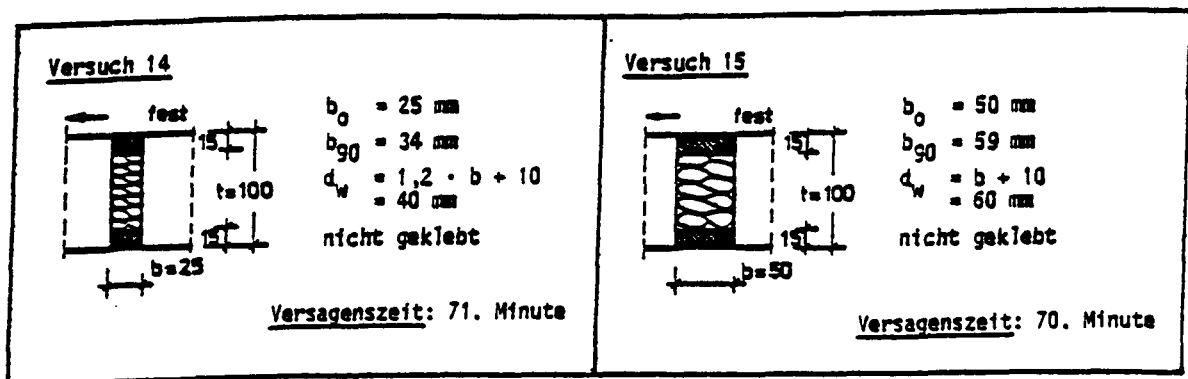
4.6.1 Einfluß der Fugenbreite

4.6.1.1 bei reiner horizontaler Fugenrandverschiebung

Die hier zur Beurteilung des Einflusses der Fugenbreite herangezogenen Versuche 1 und 4 für horizontal schließende Fugenrandverschiebungen unterscheiden sich, bei sonst gleichen Randbedingungen, in der Fugenbreite und der Einbaudichte des Fugenfüllstoffs. Die breitere Fuge (Versuch 4) war schwächer dimensioniert, d.h. der Fugenfüllstoff hatte eine geringere Einbaudichte als beim Versuch mit der schmalen Fuge. In beiden Versuchen lag die Versagenszeit der Fuge bei über 100 Minuten Branddauer.



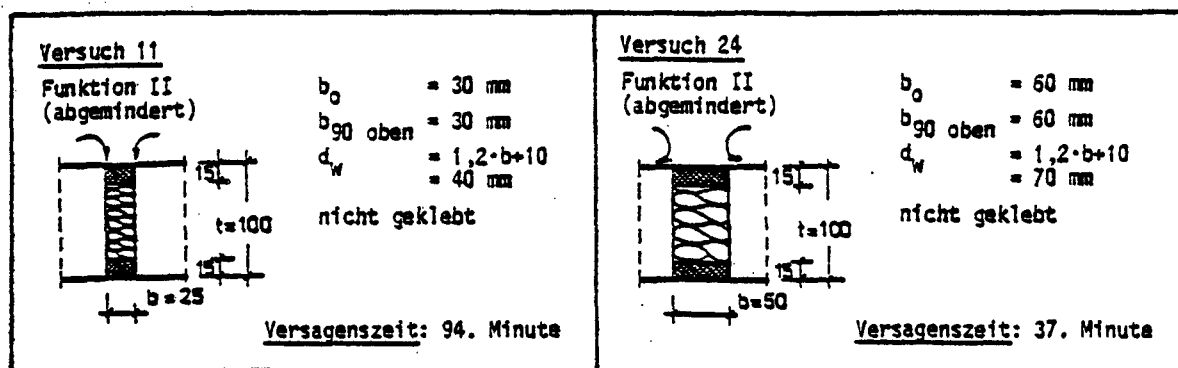
Bei horizontal öffnender Fugenrandverschiebung sind Versuch 14 und 15 vergleichbar, obwohl auch hier die Einbaudichte des Fugenfüllstoffs nicht gleich war.



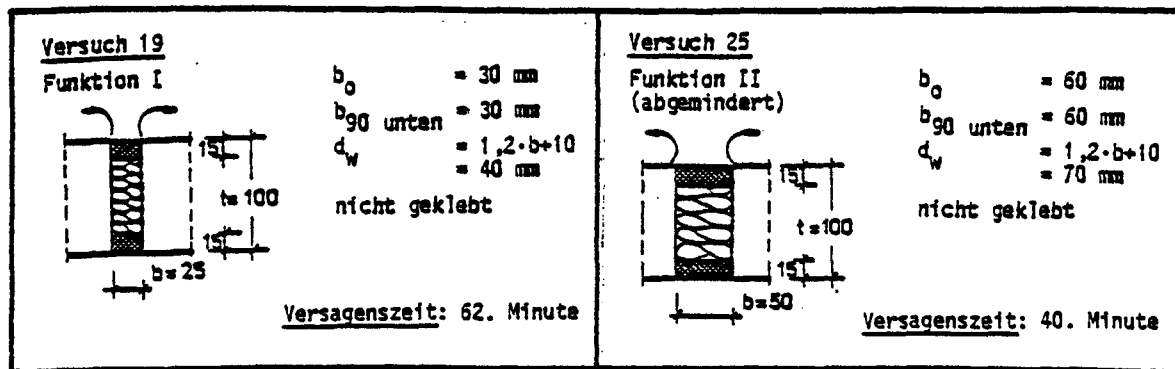
Der Vergleich der Versagenszeiten zeigt, daß bei reiner horizontaler Fugenrandverschiebung die Fugenbreite keinen bzw. nur einen geringen Einfluß auf die Versagenszeit der Fuge ausübt.

4.6.1.2 bei Verdrehung beider Fugenüfer

Es werden zwei Versuche mit Verdrehung beider Fugenüfer nach unten verglichen: Versuch 11 und Versuch 24. Bis auf die Fugenbreite waren die Randbedingungen in beiden Versuchen identisch.



Für die Beurteilung des Einflusses der Fugenbreite bei Verdrehung beider Fugenüfer nach oben können Versuch 19 und 25 verglichen werden. Versuch 19 (schmale Fuge) wurde mit Steuerfunktion I und Versuch 25 (breite Fuge) mit der abgeminderten Steuerfunktion II durchgeführt.

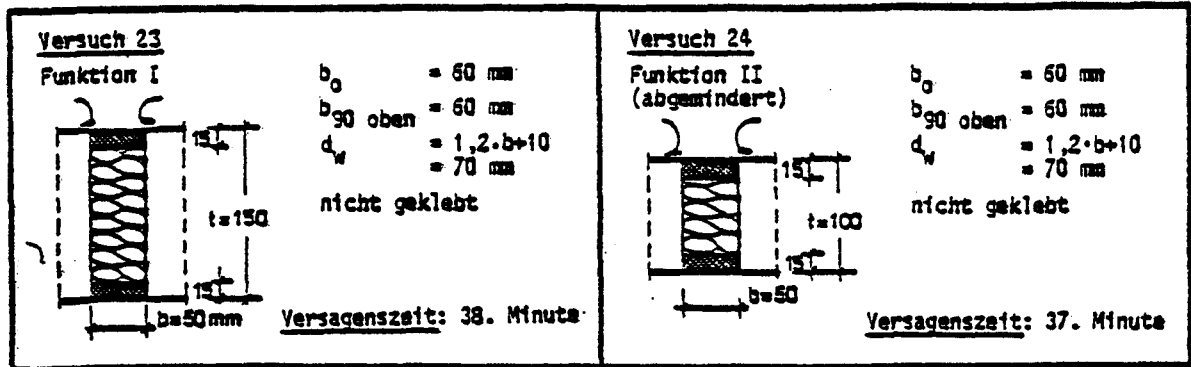


Die angeführten Versuche zeigen sehr deutlich, daß bei beidseitiger Verdrehung der Fugenüfer die Fugenbreite einen wesentlichen Einfluß auf das Brandverhalten der Fugen hat. Dies wird auch durch den Vergleich der Versuche 7 und 13 belegt.

Der Einfluß der Fugenbreite bei einseitiger Verdrehung und bei Scherung wurde in Brandversuchen nicht gesondert untersucht. Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann aber durch Vergleich abgeleitet werden, daß bei einer Fugenrandbewegung, die ein Verdrehen der Fugenüfer verursacht, eine Vergrößerung der Fugenbreite zu einer Verringerung der Feuerwiderstandsdauer führt.

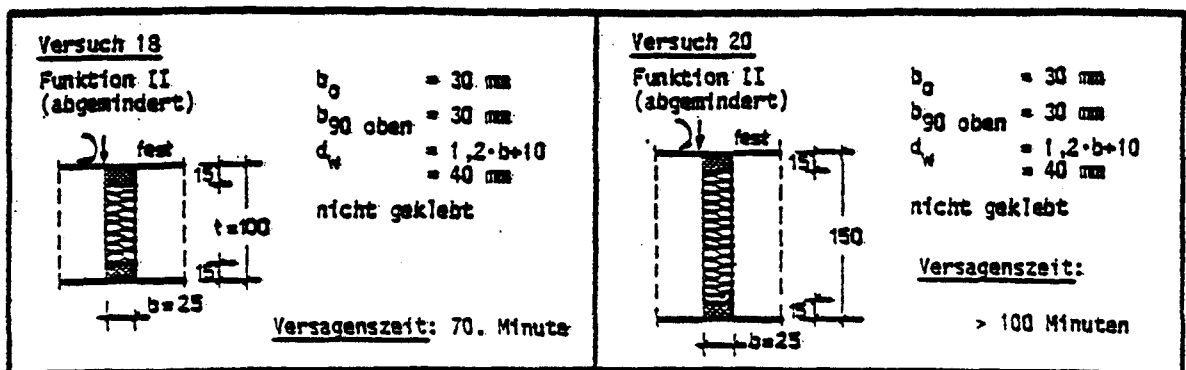
4.6.2 Einfluß der Fugentiefe

Der Einfluß der Fugentiefe wurde bei beidseitiger Verdrehung nach unten, einseitiger Verdrehung mit Scherung nach unten und einseitiger Verdrehung mit Scherung nach oben untersucht. Für die beidseitige Verdrehung nach unten werden die Versuche 23 und 24 verglichen.

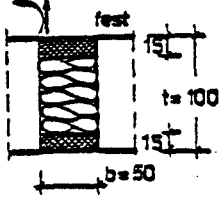
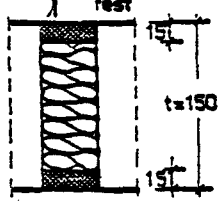


Die annähernd gleichen Versagenszeiten zeigen, daß die größere Fugentiefe die Dehnfuge befähigt, die wesentlich größeren Fugenrandverdrehungen der Funktion I aufzunehmen.

Für einseitige Verdrehung mit Scherung nach unten sind die Versuche 18 und 20 vergleichbar.



Für einseitige Verdrehung mit Scherung nach oben sind Versuch 26 und 27 vergleichbar.

<p>Versuch 26 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 62. Minute</u></p>	<p>Versuch 27 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 42. Minute</u></p>
---	--

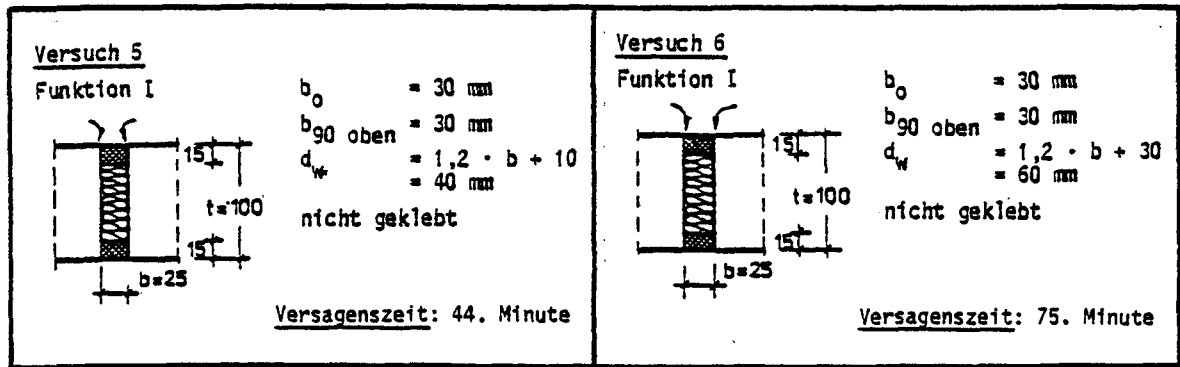
Die angeführten Versuche zeigen, daß bei beidseitiger Verdrehung nach unten und bei einseitiger Verdrehung mit Scherung nach unten eine Vergrößerung der Fugentiefe die Feuerwiderstandsdauer erhöht. Bei einseitiger Verdrehung mit Scherung nach oben wird aber das Gegenteil bewirkt: eine Verringerung der Feuerwiderstandsdauer.

Eine Vergrößerung der Fugentiefe muß also nicht gleichbedeutend mit einer Verbesserung des Brandverhaltens der Fuge sein. Es ist immer zu beachten, welche Bewegungen auf die Fuge einwirken.

Ein Vergleich zwischen großen und kleinen Fugentiefen zeigt, daß bei großen Fugentiefen die Fugendichtungsmasse bei Verdrehung nach oben durch größere Klaffung der Fuge auf der dem Feuer abgekehrten Seite stärker belastet wird und schneller vom oberen Fugenufer abreißt. Da sich die Fugendichtungsmasse bei Entlastung wieder auf das Ausgangsmaß zusammenzieht, wird der anhaftende Fugenfüllstoff (Mineralfaserplatten) entsprechend mitgezogen, und am oberen Fugenufer entsteht ein Spalt. Die Fugendichtung ist nur noch im unteren Bereich der Fuge wirksam, und zwar unabhängig von der vorhandenen Fugentiefe. Das schnelle Abreißen der Fugendichtungsmasse bei großen Fugentiefen bewirkt ein frühzeitiges Verringern der wirksamen Fugenhöhe und damit eine geringere Versagenszeit als bei Bauteilen mit kleineren Fugentiefen.

4.6.3 Einfluß der Einbaudicke des Fugenfüllstoffes

Zur Feststellung des Einflusses der Einbaudicke (d_w) des Fugenfüllstoffes werden Versuch 5 und 6 (Verdrehung beider Fugenufer mit Funktion I nach unten) miteinander verglichen.

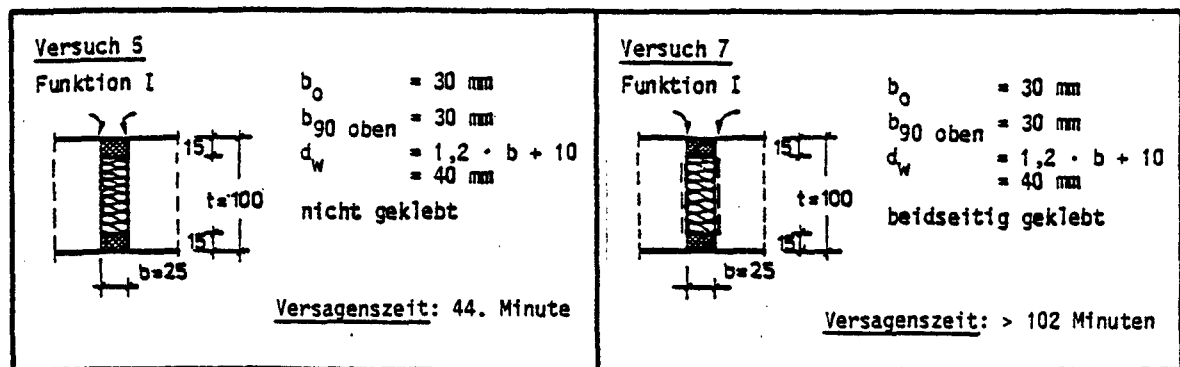


Diese Versuche zeigen deutlich, daß die Einbaudicke des Fugenfüllstoffes entscheidenden Anteil am Feuerwiderstand hat. Zum einen wird durch eine große Einbaudicke die Dichte des Fugenfüllmaterials vergrößert und dadurch die Temperaturentwicklung in der Fuge verzögert; zum zweiten bewirkt das Rückstellvermögen von elastischem Fugenfüllstoff, daß die Fuge bei öffnenden Fugenrandbewegungen über einen längeren Zeitraum geschlossen bleibt.

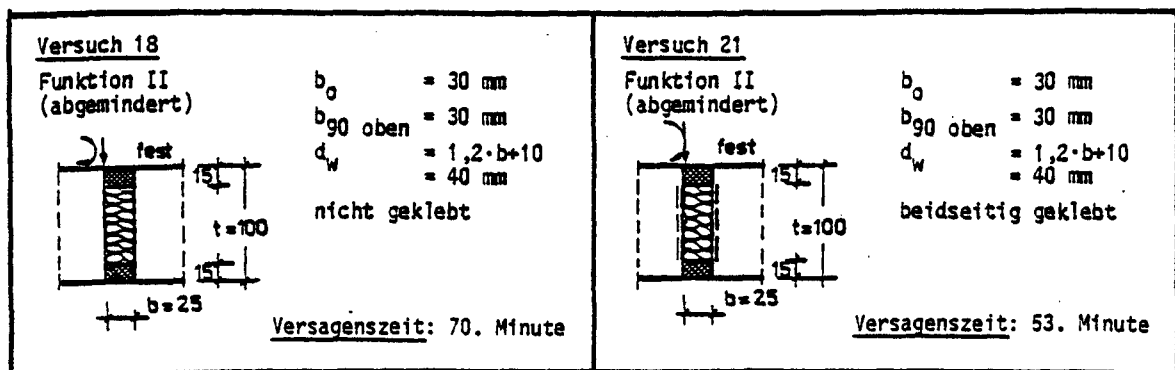
4.6.4 Einfluß des Anklebens des Fugenfüllstoffes an die Fugenflanken

Zur Beurteilung des Einflusses des Anklebens des Fugenfüllstoffes an die Fugenflanken werden bei beidseitiger Verdrehung der Fugenufer nach unten Versuch 5 und 7 und bei einseitiger Verdrehung mit Scherung nach unten Versuch 18 und 21 herangezogen.

Beidseitige Verdrehung nach unten:



Einseitige Verdrehung mit Scherung nach unten:



Der Vergleich der Versuche 5 und 7 zeigt, daß bei beidseitiger Verdrehung der Fugenufer nach unten (ohne Scherung!) ein beidseitiges Ankleben des Fugenfüllstoffes die Feuerwiderstandsdauer entscheidend erhöht.

Bei Fugenrandscherungen, die eine Vertikalverschiebung der Fugenufer bewirken, bildet sich durch die beim Abreißen der Fugendichtungsmasse von den Fugenuern auftretenden Scherkräfte im Fugenfüllstoff ein Diagonalriß aus, der im weiteren Versuchsverlauf zum frühzeitigen Versagen führt (siehe auch Versuch 33). Bei Fugenrandscherungen verschlechtert sich durch Ankleben die Feuerwiderstandsdauer erheblich (Bild 4.1).

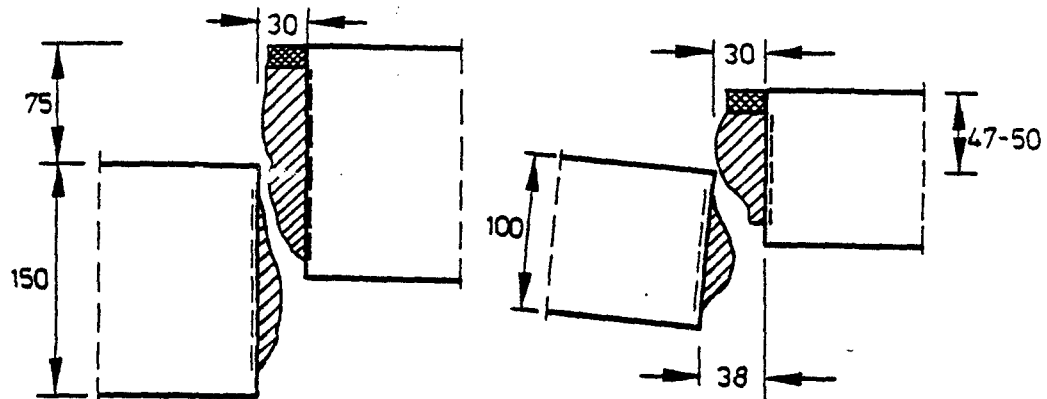


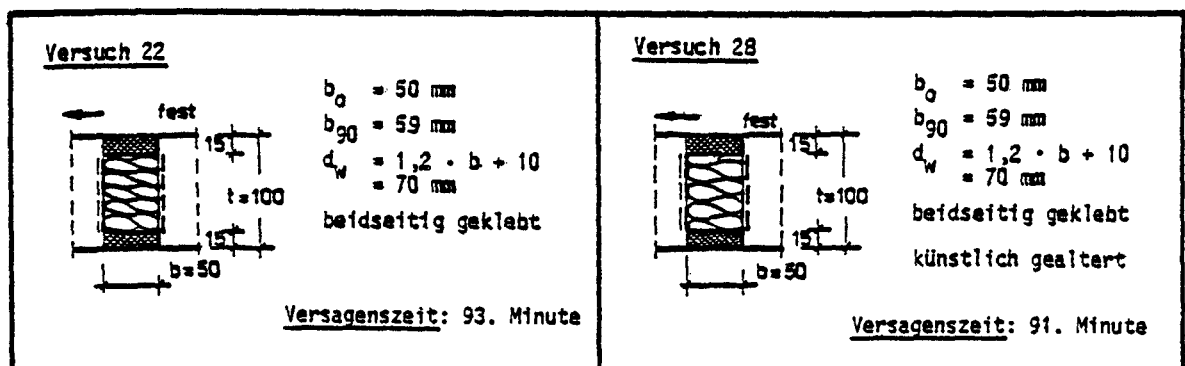
Bild 4.1: Diagonalriß im Fugenfüllstoff bei Fugenrandscherung

4.6.5 Einfluß der künstlichen mechanischen Alterung

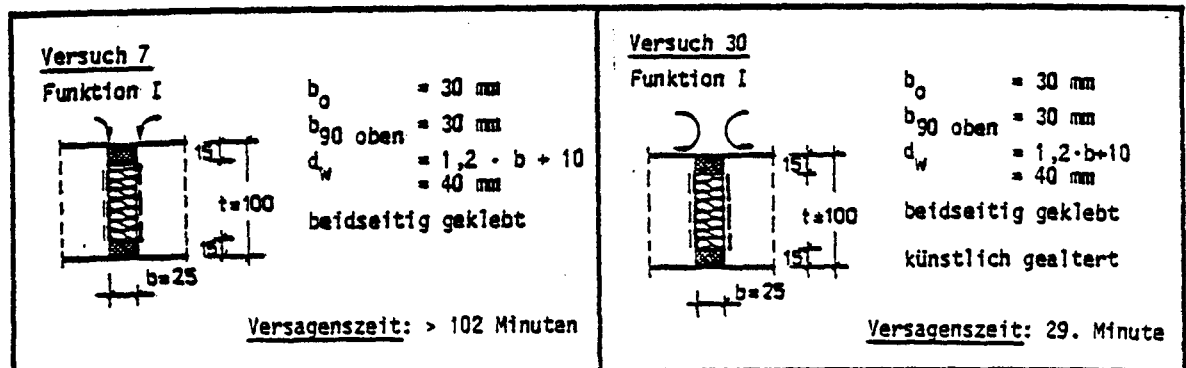
Um den Einfluß der Alterung der Fugen im Bauwerk zu überprüfen, wurden einige ausgewählte Fugenausbildungen, die in den vorangegangenen Versuchen eine Versagenszeit von größer 90 Minuten erreichten, einer künstlichen mechanischen Alterung unterzogen und im Anschluß daran auf ihr Brandverhalten untersucht.

Es wurden die gleichen Fugenrandbewegungen gesteuert wie in den vorangegangenen Brandversuchen, bei denen Versagenszeiten von mehr als 90 Minuten erreicht wurden.

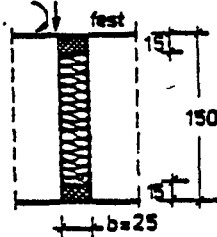
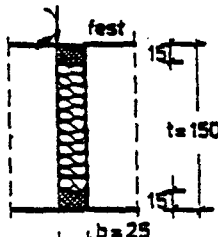
Die künstliche Alterung der Fugen hatte bei horizontalal öffnender Fugenrandverschiebung keinen Einfluß auf das Brandverhalten. Vergleichbar sind hierzu Versuch 22 und 28.



Sehr nachteilig wirkte sich die künstliche Alterung dagegen bei beidseitig angeklebtem Fugenfüllstoff in Verbindung mit einer beidseitigen Verdrehung der Fugenufer nach unten aus. Zur Beurteilung kommen hier Versuch 7 und 30.



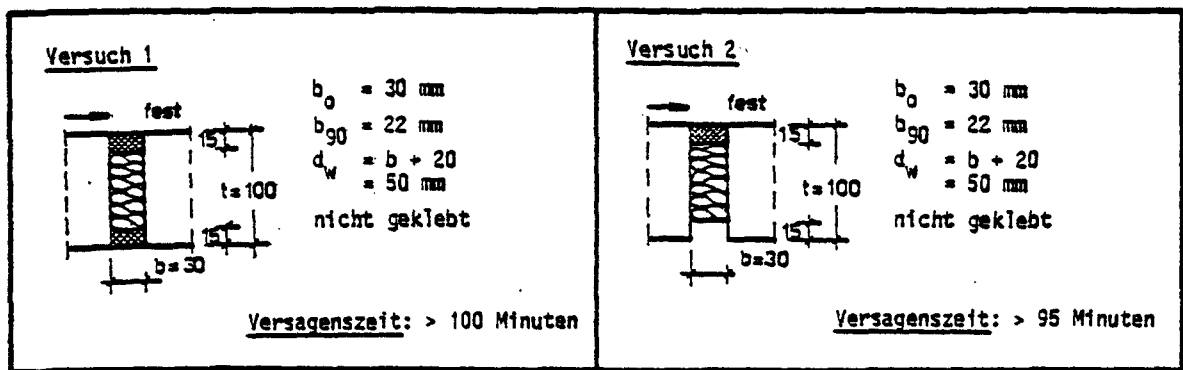
Auch bei einseitiger Verdrehung mit Scherung nach unten wirkte sich die künstliche Alterung verkürzend auf die Versagenszeit im Brandversuch aus. Hierzu sind Versuch 20 und 31 vergleichbar.

<p>Versuch 20 Funktion II (abgemindert)</p>  <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt</p> <p><u>Versagenszeit:</u> $> 100 \text{ Minuten}$</p>	<p>Versuch 31 Funktion II (abgemindert)</p>  <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt künstlich gealtert</p> <p><u>Versagenszeit:</u> 83. Minute</p>
--	---

Der in diesem Untersuchungsvorhaben festgestellte Einfluß der Alterung kann nur orientierend gewertet werden. Die zur Erzielung der künstlichen mechanischen Alterung durchgeführten Versuche stellen sog. "Zeitraffer"-Untersuchungen dar; d.h. die tatsächlich im Bauwerk auftretende Belastung der Fuge erstreckt sich über einen großen Zeitraum. In diesem Zeitraum kann sich das Fugenmaterial "langsam" auf die jeweils wechselnde Belastung einstellen. Andererseits wird durch die hier vorgenommene künstliche Alterung keine mechanische oder chemische Schädigung des Fugenfüllstoffs berücksichtigt.

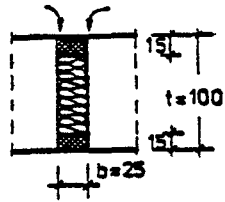
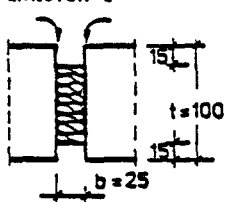
4.6.6 Einfluß der Fugendichtungsmasse

Es werden Versuch 1 und 2 verglichen. Sie unterscheiden sich dadurch, daß bei Versuch 2 an der Fugenunterseite keine Fugendichtungsmasse eingebaut war.



Der Vergleich der Temperaturentwicklung im Fugenfüllstoff (siehe Anlage 4.41 und 4.42) ergibt für die dem Feuer zugekehrte Seite des Fugenfüllstoffes nach 90 Minuten Branddauer für Versuch 1 eine mittlere Temperaturerhöhung von 824 K über den Ausgangswert und für Versuch 2 von 955 K. In halber Tiefe des Fugenfüllstoffes ergab sich nach derselben Versuchsdauer für Versuch 1 eine mittlere Temperaturerhöhung von 326 K und für Versuch 2 von 407 K. Auf der dem Feuer abgekehrten Seite des Fugenfüllstoffes wurden nach 90 Minuten Branddauer für Versuch 1 121 K und für Versuch 2 153 K gemessen. Ein Ausspritzen der Fuge mit Fugendichtungsmasse auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Fuge trägt also zur Verbesserung des Brandverhaltens bei.

Die Anordnung von Fugendichtungsmasse auf der dem Feuer abgekehrten Seite der Fuge erwies sich bei den hier geprüften Fugenkonstruktionen als sehr wichtig. Hierbei ist allerdings dafür zu sorgen, daß die Fugendichtungsmasse gut an den Fugenflanken haftet und daß sie sich beim Aufbringen mit den Mineralfaserplatten verbinden kann. Wie groß der Einfluß der Fugendichtungsmasse auf die Feuerwiderstandsdauer ist, erkennt man beim Vergleich von Versuch 6 und 8 (Verdrehung beider Fugenüfer nach unten).

<p><u>Versuch 6</u> Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ $t = 100$ $b = 25$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 75. Minute</u></p>	<p><u>Versuch 8</u> Funktion I</p>  <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ $t = 100$ $b = 25$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 39. Minute</u></p>
---	--

Die Fugendichtungsmasse erfüllt damit u.a. folgende Aufgaben:

- sie verhindert das Herausrutschen des Fugenfüllstoffs in den Brandraum,
- sie zieht bei öffnenden Fugenbewegungen die anhaftenden Mineralfaserplatten auf der dem Feuer abgekehrten Seite gleichmäßig auseinander und hält so die Fuge geschlossen.

4.7 Diskussion der Versuchsergebnisse

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß es schwierig ist, eine Dehnfuge so auszubilden, daß sie bei öffnender Fugenrandverschiebung, bei Fugenrandverdrehung und/oder bei Fugenrandscherung einen Brandversuch nach DIN 4102 Teil 2 /7/ zum Nachweis der Feuerwiderstandsklasse "F 90" besteht. Trotzdem konnten für einige dieser Fugenrandbewegungen Fugenausbildungen gefunden werden, die eine Branddauer größer 90 Minuten überstanden.

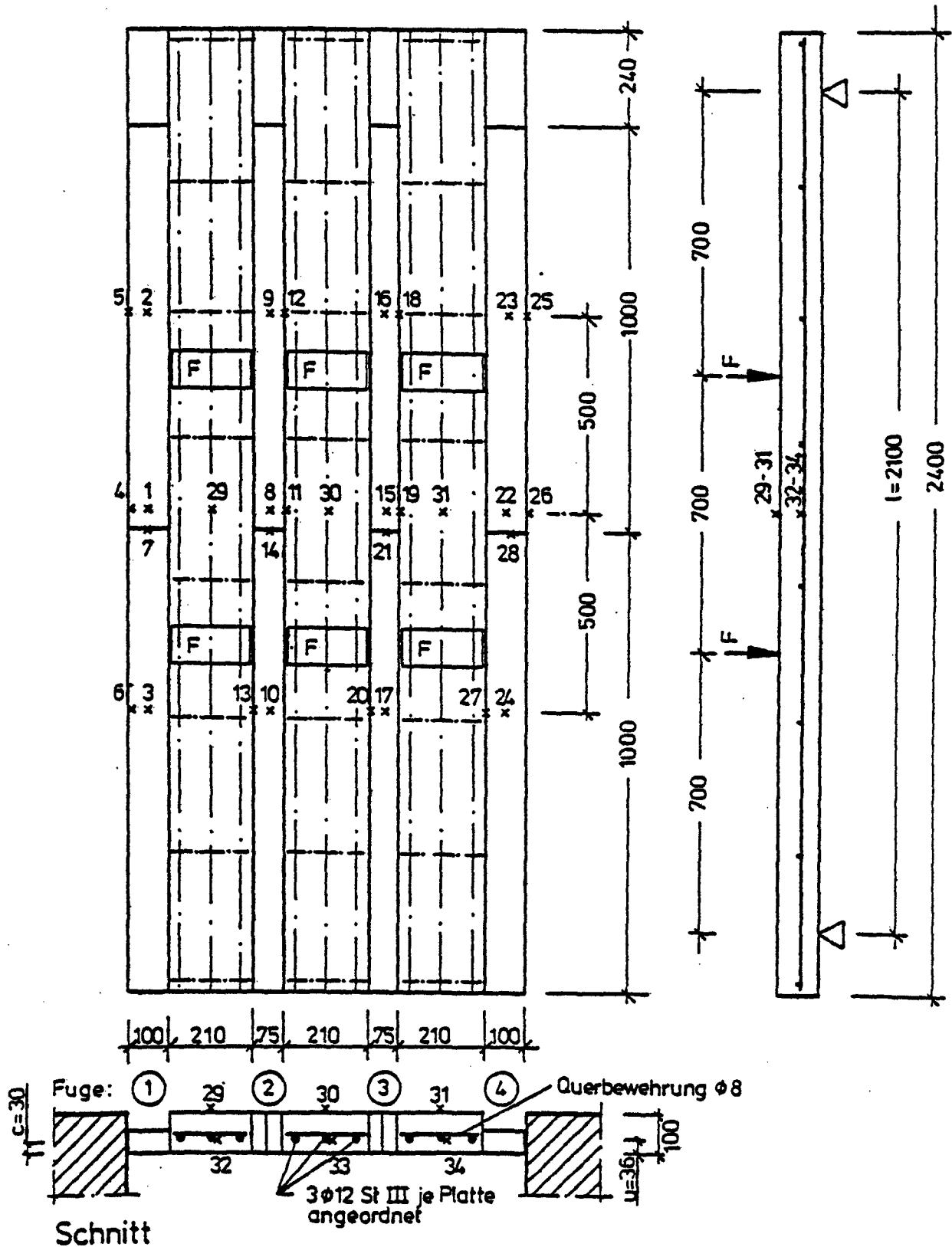
Bei den Brandversuchen im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens wurden, um die Parametervariation zu begrenzen, ausschließlich Mineralfaserplatten als Fugenfüllstoff verwendet (s. Abschnitt 3.2.2). Beim Einsatz von zusätzlichen Materialien als Fugenfüllstoff, d.h. Mineralfaserplatten plus z.B. im Brandfall aufschäumende oder -blähende Platten oder Dämmschichtbildnern, kann u.U. das Brandverhalten der Fuge positiv verändert werden. Dies muß durch Versuche geklärt werden.

Die Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Braunschweig, geht bei der Prüfung zur Beurteilung des Brandverhaltens von Fugendichtungen derzeit wie folgt vor:

Zur Prüfung werden die für die entsprechende Feuerwiderstandsdauer bemessenen Stahlbetonplattenstreifen mit einer Stützweite von $l = 2.100 \text{ mm}$ horizontal auf die Brandkammer aufgelegt. Der Abstand zwischen den Stahlbetonplattenstreifen sowie zwischen den Stahlbetonplattenstreifen und den angrenzenden Brandkammerwänden entspricht der zu prüfenden Fugenbreite. Nach dem Verlegen der Stahlbetonplattenstreifen werden die Fugen verfüllt. Während der Brandprüfung wird jeder Stahlbetonplattenstreifen durch zwei Einzellasten belastet, die im Abstand von $3/8 l$ vom Auflager stehen. Als Belastung wird die zulässige Gebrauchslast aufgebracht.

Draufsicht M.1:15

Schnitt



- *1-31 Temperatur-Meßstellen am Prüfkörper auf der dem Feuer abgekehrten Seite, Fe-Konst. $\phi 0,5$ mm
 - *32-34 Temperatur-Meßstellen am Stahl
- Maße in mm

Bild 4.2: Beispiel für den Prüfaufbau

Bei dieser Prüfanordnung ergeben sich z.B. für "F 90" bemessene Stahlbetonplattenstreifen nach 90 Minuten Branddauer Mittendurchbiegungen von annähernd 60 mm.

Während der Brandbeanspruchung bewegen sich die Fugenufer der zwischen den Stahlbetonplattenstreifen ausgebildeten Fugen gleichmäßig nach unten, die Fugenflanken bleiben parallel zueinander, und die Fugenbreite verändert sich kaum. Die Fugendichtungen werden somit hauptsächlich durch Verdrehung in Fugenlängsrichtung beansprucht.

Die zwischen den Stahlbetonplattenstreifen und den angrenzenden Brandkammerwänden angeordneten Fugendichtungen erfahren zusätzlich eine Scherung von max. 60 mm. Die Größe der Scherung wird durch die relativ geringe Spannweite der Stahlbetonplattenstreifen bestimmt. Bei größeren Spannweiten - z.B. in einem Bauwerk - werden in der Regel größere Scherungen auftreten.

Nicht berücksichtigt werden bei dem derzeitigen Prüfverfahren Fugenrandbewegungen in Form von Verschiebungen und Verdrehungen quer zur Fugenlängsachse. Insbesondere diese Fugenrandbewegungen scheinen aber nach den in diesem Untersuchungsvorhaben erarbeiteten Ergebnissen die höchsten Brandschutzanforderungen an die Fugenausführung zu stellen. Es stellt sich somit die Frage, ob das derzeitige Prüfverfahren zur Beurteilung des Brandverhaltens von Fugendichtungen nicht um diese "kritischen" Fugenrandbewegungen erweitert werden sollte.

5 Beurteilung der Versuchsergebnisse im Hinblick auf eine Anwendung in der Praxis

In diesem Abschnitt werden die Versuchsergebnisse hinsichtlich der erreichten Branddauern (Versagenszeiten) geordnet. Dabei werden schwerpunktmäßig die Versuche mit Branddauern von mindestens 90 Minuten behandelt. Am Schluß des Abschnitts sind orientierend die Versuche mit Branddauern von mindestens 60 Minuten und Branddauern von mindestens 30 Minuten tabellarisch zusammengestellt.

Die aus den Versuchen abgeleiteten konstruktiven Empfehlungen gelten nur unter Beachtung der folgenden Bedingungen; diese Bedingungen entsprechen den Randbedingungen der in diesem Untersuchungsvorhaben geprüften Dehnfugen:

- Minstdicke der Stahlbeton- oder Spannbetondeckenplatte $t = 100$ mm mit parallelen Fugenflanken,
- Fugenfüllstoff aus mineralischen Fasern nach DIN 18 165 Teil 1, 1/1975 (Baustoffklasse A nach DIN 4102 Teil 1 mit einem Schmelzpunkt von mindestens 1000°C und einer Rohdichte von mindestens 30 kg/m^3);
- Fugendichtungsmasse im Sinne von DIN 52 460 /6/, (Baustoffklasse B 2 nach DIN 4102 Teil 4, Absatz 2.3.2.o),
- Vorbehandlung der Fugenflanken entsprechend der Hersteller-Richtlinie für die verwendete Fugendichtungsmasse,
- Kleber für den Fugenfüllstoff der Baustoffklasse A, (s. Abschn. 4.6.4),
- Fugenrandbewegungen: Für die Abschätzung der Fugenrandbewegung wird folgendes Vorgehen vorgeschlagen: Nachdem in der Planung die Gebäudekonstruktion, die Bauart, der Dehnfugenabstand und die erforderliche Feuerwiderstandsdauer festgelegt wurden, wird die im Brandfall zu erwartende Fugenrandbewegung abgeschätzt. Dabei ist davon auszugehen, daß der Brand im Bereich der Dehnfuge stattfindet, so daß die Dehnfuge selbst und die angrenzenden Deckenbereiche vom Brand erwärmt werden. Für die Abschätzung der zu erwartenden Fugenrandbewegung sind ausreichend fundierte Kenntnisse über das Trag- und Verformungsverhalten von brandbeanspruchten Bauteilen erforderlich. Zum Teil kann für diese Kenntnisse auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, wie sie z.B. am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz vorhanden sind.

5.1 Ergebnisse

5.1.1 Zusammenstellung der Versuche mit Branddauern von mindestens 90 Minuten

Von den 33 durchgeführten Brandversuchen wurden in 10 Versuchen Branddauern von mindestens 90 Minuten erreicht. Diese Versuche sind in der Tabelle 5.1 zusammengestellt.

Entsprechend der vorgegebenen Fugenrandbewegungen wurde der Fugenaufbau unterschiedlich ausgeführt. Nachstehend werden die Fugenausführungen herausgehoben, die sich im Brandversuch als besonders geeignet erwiesen haben, um bestimmte Fugenrandbewegungen über eine Branddauer von mindestens 90 Minuten aufnehmen zu können. Bei den folgenden Details zum Fugenaufbau sind immer die im Abschnitt 5 aufgeführten Bedingungen zu beachten.

Zunächst wird die im Abschnitt 2.1 für den Normalfall vorgesehene Fuge mit einer Fugenbreite von $b = 25 \text{ mm}$ betrachtet. Für diese Fuge wird eine Fugenausbildung mit den folgenden Details empfohlen:

- Fugenbreite $b \leq 25 \text{ mm}$
- Fugenfüllstoff: Einbaudicke $d_w \geq 1,2 \cdot b + 10 \text{ mm}$
Einbautiefe $t_w \geq 70 \text{ mm}$
- Fugendichtungsmasse: Einbautiefe
oben und unten $t_f \geq 15 \text{ mm}$
- Ankleben des Fugenfüllstoffs an beide Fugenflanken

Die so ausgebildete Fuge ist zur Aufnahme

- von überwiegender Fugenrandverdrehung, wobei sich die Fuge auf der feuerzugekehrten Seite öffnet und die zu erwartende Fugenrandverdrehung annähernd der Funktion I entspricht, sowie
- von überwiegender Fugenrandverschiebung, wobei sich die Fuge horizontal öffnet oder schließt

geeignet.

Tabelle 5.1: Versuche mit Branddauern von mindestens 90 Minuten

<p><u>Versuch 1</u></p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 20$ $= 50 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> > 100 Minuten</p>	<p><u>Versuch 2</u></p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 20$ $= 50 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> > 95 Minuten</p>
<p><u>Versuch 4</u></p> <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90} = 52 \text{ mm}$ $d_w = b + 10$ $= 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> > 103 Minuten</p>	<p><u>Versuch 7</u></p> <p>Funktion I</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> > 102 Minuten</p>
<p><u>Versuch 11</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> 94. Minute</p>	<p><u>Versuch 12</u></p> <p>Funktion I</p> <p> $b_0 = 35 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 35 \text{ mm}$ $d_w = b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> 96. Minute</p>
<p><u>Versuch 22</u></p> <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90} = 59 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 70 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> 93. Minute</p>	<p><u>Versuch 28</u></p> <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90} = 59 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 70 \text{ mm}$ beidseitig geklebt künstlich gealtert </p> <p><u>Versagenszeit:</u> 91. Minute</p>
<p><u>Versuch 20</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit:</u> > 100 Minuten</p>	<p><u>Versuch 32</u></p> <p>Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10$ $= 40 \text{ mm}$ nicht geklebt künstlich gealtert </p> <p><u>Versagenszeit:</u> 100. Minute</p>

Die für den Normalfall beschriebene Fugenausbildung kann bei überwiegender Fugenrandverschiebung auch für breite Dehnfugen mit $b = 50 \text{ mm}$ eingesetzt werden, wobei das Ankleben des Fugenfüllstoffs an die Fugenflanken nicht erforderlich ist, wenn im Brandfall eine überwiegend schließende Fugenrandbewegung erwartet wird. Auf das Ankleben des Fugenfüllstoffs an die Fugenflanken kann ebenfalls verzichtet werden bei überwiegender Fugenrandverdrehung, wenn die zu erwartende Verdrehung der Funktion II entspricht oder wenn die Fugenflanken z-förmig ausgebildet werden. Auf das Ankleben des Fugenfüllstoffs an die Fugenflanken muß verzichtet werden, wenn im Brandfall eine kombinierte Fugenrandbewegung aus Scherung und Verdrehung erwartet wird (s. Abschnitt 4.6.4). In solchen Fällen muß bei der für den Normalfall dargestellten Fugenausbildung die Fugentiefe auf $t = 150 \text{ mm}$ vergrößert werden.

Neben den bisher beschriebenen grundsätzlichen Maßnahmen zur Ausbildung einer Dehnfuge mit einer Branddauer von mindestens 90 Minuten, werden in Tabelle 5.1 weitere konstruktive Hinweise zur Fugenausbildung in Verbindung mit der überwiegend zu erwartenden Fugenrandbewegung gegeben. Beispielsweise reicht bei überwiegend horizontal schließender Fugenrandverschiebung eine Einbaudicke des Fugenfüllstoffs von $d_w \geq b + 10 \text{ mm}$ aus. Anhand der in Tabelle 5.1 aufgeführten Beispiele können somit Fugenausbildungen, die nicht der für den Normalfall dargestellten Fugenausbildung entsprechen, dahingehend überprüft werden, ob sie in Verbindung mit der zu erwartenden Fugenrandbewegung eine Branddauer von mindestens 90 Minuten erreichen.

An dieser Stelle muß ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß geringe konstruktive Änderungen gegenüber den in Tabelle 5.1 angegebenen Fugenausbildungen und/oder geringe Abweichungen der Fugenrandbewegungen gegenüber der im Versuch gefahrenen Steuerfunktion (s. Abschnitt 2.1) eine deutliche Verringerung der Branddauer bewirken können.

Die in Tabelle 5.1 zusammengefaßten Ergebnisse und die in den Versuchen gesammelten Erfahrungen führen zu folgenden Schlußfolgerungen:

- die brandschutztechnisch erforderliche Ausbildung der Dehnfuge wird entscheidend von der im Bauwerk überwiegend zu erwartenden Fugenrandbewegung bestimmt.

- Die in Tabelle 5.1 aufgeführten Fugenausbildungen können in die Feuerwiderstandsklasse F 90 - Benennung F 90-AB - eingestuft werden, wenn die im Bauwerk überwiegend zu erwartende Fugenrandbewegung mit der im Versuch vorhandenen Fugenrandbewegung übereinstimmt und die an die Fuge angrenzende Decke der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse angehört.
- Die an Deckenausschnitten ermittelten Untersuchungsergebnisse, d.h. die Dehnfugenlängsachse verlief horizontal, können bei Verwendung von Mineralfaserplattenstreifen als Fugenfüllstoff - wie geprüft - auch auf Dehnfugen in Wänden, d.h. die Dehnfugenlängsachse verläuft vertikal, übertragen werden; bei Verwendung anderer Fugenfüllstoffe ist gegebenenfalls eine Wandprüfung erforderlich.
- Es ist darauf zu achten, daß die Anfangs- und Endbereiche der Fuge sorgfältig ausgeführt werden. Der Fugenfüllstoff muß in diesen Bereichen in Fugenlängsrichtung um mindestens 10 mm gestaucht eingebaut werden.
- In Bereichen, in denen der Fugenfüllstoff gestoßen wird, muß der Fugenfüllstoff - wie geprüft - entweder in Fugenlängsrichtung von 10 mm gestaucht oder mit einem z-förmigen Versatz mit einer Überlappung von 30 - 50 mm eingebaut werden.

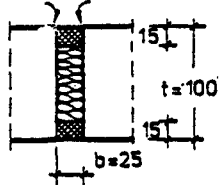
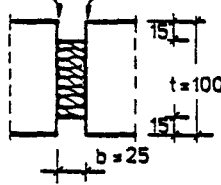
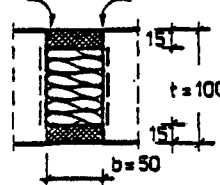
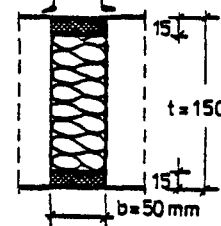
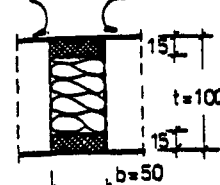
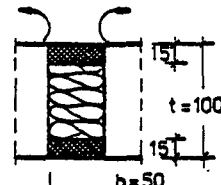
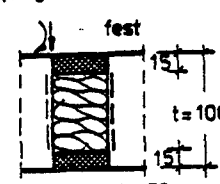
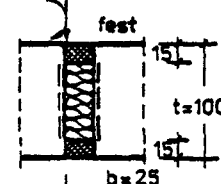
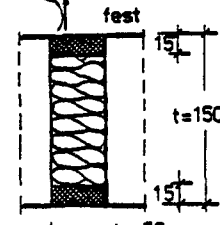
5.1.2 Zusammenstellung der Versuche mit Branddauern von mindestens 60 Minuten und von mindestens 30 Minuten

In den folgenden Tabellen 5.2 und 5.3 sind die Versuche zusammengefaßt, die Branddauern von mindestens 60 Minuten bzw. mindestens 30 Minuten erreicht haben. Die Tabellen sollen vor allen Dingen konstruktive Hinweise für Fugenausbildungen geben, die für weniger als 90 Minuten Branddauer vorgesehen sind. Bei der Anwendung der Tabellen muß beachtet werden, daß in den Brandversuchen die an den Fugenbereich angrenzende Bauteildicke größer war als die nach DIN 4102 Teil 4 für die Feuerwiderstandsklasse F 60 bzw. F 30 erforderliche Mindestdicke von Stahlbeton- oder Spannbetonplatten. Die in den Tabellen angegebenen Bauteilhöhen sind bei der Anordnung der Dehnfuge im Bauwerk einzuhalten. Außerdem sind immer die in Abschnitt 5 aufgeführten Bedingungen für den Fugenaufbau zu beachten.

Tabelle 5.2: Versuche mit Branddauern von mindestens 60 Minuten

<p>Versuch 3</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 22 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 79. Minute</u></p>	<p>Versuch 14</p> <p> $b_0 = 25 \text{ mm}$ $b_{90} = 34 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 71. Minute</u></p>
<p>Versuch 15</p> <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90} = 59 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 70. Minute</u></p>	<p>Versuch 6 Funktion I</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 75. Minute</u></p>
<p>Versuch 13 Funktion I</p> <p> $b_0 = 50 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 50 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 78. Minute</u></p>	<p>Versuch 19 Funktion I</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 62. Minute</u></p>
<p>Versuch 18 Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 70. Minute</u></p>	<p>Versuch 26 Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 62. Minute</u></p>
<p>Versuch 31 Funktion II (abgemindert)</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt künstlich gealtert </p> <p><u>Versagenszeit: 83. Minute</u></p>	<p>Versuch 33</p> <p> $b_0 = 30 \text{ mm}$ $b_{90} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 72. Minute</u></p>

Tabelle 5.3: Versuche mit Branddauern von mindestens 30 Minuten

<p>Versuch 5 Funktion I</p>  <p> $b_o = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 44. Minute</u></p>	<p>Versuch 8 Funktion I</p>  <p> $b_o = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 30 = 60 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 39. Minute</u></p>
<p>Versuch 10 Funktion I</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 49. Minute</u></p>	<p>Versuch 23 Funktion I</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 38. Minute</u></p>
<p>Versuch 24 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 37. Minute</u></p>	<p>Versuch 25 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 40. Minute</u></p>
<p>Versuch 17 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = b + 10 = 60 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 36. Minute</u></p>	<p>Versuch 21 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 30 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ oben}} = 30 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 40 \text{ mm}$ beidseitig geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 53. Minute</u></p>
<p>Versuch 27 Funktion II (abgemindert)</p>  <p> $b_o = 60 \text{ mm}$ $b_{90 \text{ unten}} = 60 \text{ mm}$ $d_w = 1,2 \cdot b + 10 = 70 \text{ mm}$ nicht geklebt </p> <p><u>Versagenszeit: 42. Minute</u></p>	

5.2 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden Ergebnisse von Untersuchungen an Dehnfugen unter Normbrandbeanspruchung mitgeteilt. Ziel der Arbeit ist es, praxisgerechte Dehnfugenausbildungen zu entwerfen und zu prüfen, die unter Berücksichtigung der während eines Brandfalles zu erwartenden Fugenrandbewegungen die Anforderungen von DIN 4102 erfüllen.

Zur Steuerung der Fugenrandbewegungen wurden durch Auswertung von Meßergebnissen aus Brandversuchen an Stahlbetonbauteilen zeitabhängige Steuerfunktionen ermittelt. Anhand dieser Funktionen wurden die Fugenflanken gegeneinander verschoben, gesichert und/oder verdreht. Neben dem Einfluß der Fugenrandbewegungen wurde der Einfluß der Fugentiefe, der Fugenbreite, der Ausgangsdicke des Fugenfüllstoffs, der Fugendichtungsmasse und der Einfluß einer künstlichen mechanischen Alterung des Fugenfüllstoffs untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde für eine angestrebte Branddauer von mindestens 90 Minuten ausgelegt.

Die Ergebnisse aus den insgesamt durchgeführten 33 Brandversuchen werden in Tabellen zusammengefaßt, die die geprüften Dehnfugenausbildungen unter Berücksichtigung der zu erwartenden Fugenrandbewegungen im Brandfall enthalten.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse lassen sich für brandbeanspruchte, parallelwandige Dehnfugen, die die Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse F 90 - Benennung F 90 -AB - erfüllen, folgende grundsätzliche Ausbildungsdetails ableiten:

- Die Dehnfuge muß mit einem Fugenfüllstoff verfüllt werden
- Der Fugenfüllstoff muß aus nicht brennbarem Baustoff bestehen und
- er muß gestaut eingebaut werden.
- Die Fugendichtungsmasse darf aus brennbarem Baustoff bestehen,
- sie muß auf der dem Feuer abgekehrten Seite und sie sollte auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Fuge angeordnet werden.

Die vorstehend aufgeführten Ausbildungsdetails ermöglichen es, praxisgerechte Dehnfugenausführungen für die meisten über eine Branddauer von mindestens 90 Minuten zu erwartenden Fugenrandbewegungen anzubieten. Entsprechend der Fugenrandbewegung muß beachtet werden:

- Bei überwiegender Fugenrandverdrehung oder überwiegender Fugenrandverschiebung muß der Fugenfüllstoff an beiden Fugenflanken angeklebt werden,
- bei kombinierter Fugenrandbewegung aus Scherung und Verdrehung darf der Fugenfüllstoff nicht an die Fugenflanken angeklebt werden.
- Die im Bauwerk beim Brand zu erwartende Fugenrandbewegung muß der im Versuch aufgebrachten Fugenrandbewegung entsprechen.

Eine wesentliche Vereinfachung für die Anwendung der in diesem Untersuchungsvorhaben erarbeiteten Fugenausbildungen würde die Bereitstellung von Rechenhilfen bedeuten, mit denen die im Brandfall zu erwartende Fugenrandbewegung - abgestimmt auf die jeweilige Gebäudekonstruktion - abgeschätzt werden können. Diese Rechenhilfen sind in einem weiteren Untersuchungsvorhaben zu erstellen.

6 Ausblick

Die im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens durchgeführten 33 Brandversuche ermöglichen es, der Fachwelt erstmals Empfehlungen für die konstruktive Ausführung von Dehnfugen zu geben, die unter Berücksichtigung von im Brandfall möglichen Fugenrandbewegungen die Anforderungen der DIN 4102 über einen Zeitraum von 90 Minuten erfüllen.

Mit den in Abschnitt 5.1 erarbeiteten Tabellen werden der Praxis für die durchgeführten Fugenrandbewegungen Lösungsmöglichkeiten für die konstruktiv günstigste Fugenausbildung angeboten.

Damit ist der erste Schritt in Richtung auf eine gezielte brandschutztechnische Bemessung von Dehnfugen getan. Der zweite Schritt, der nicht Gegenstand des hier abgeschlossenen Untersuchungsvorhabens ist, erfordert eine detaillierte Festlegung der im Brandfall zu erwartenden Fugenrandbewegungen. Dabei sollten insbesondere die Bauart des Gebäudes, seine Aussteifung, die Stützenschlankheit und vor allen Dingen der vorhandene Dehnfugenabstand, die Lage der Dehnfuge im Gebäude und damit auch die Lage des Brandes im Gebäude berücksichtigt werden.

Zusammen mit den für das jeweilige Gebäude zu erwartenden, in realistischer Größenordnung abgeschätzten Fugenrandbewegung bieten dann die im vorliegenden Untersuchungsvorhaben erarbeiteten Ergebnisse die Möglichkeit für eine konstruktiv und wirtschaftlich befriedigende Dehnfugenausbildung.

7 Literatur

- /1/ Richter, E.: Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls. Bericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, durchgeführt im Auftrage des Innenministers des Landes Nordrhein-Westfalen (Az.: VB 1 - 72.02 - Nr. 85/77), 1979.
- /2/ Busch, H.: Feuereinwirkung auf nicht brennbare Baustoffe und Baukonstruktionen. Zementverlag GmbH, Berlin, 1938.
- /3/ Schäfer, K.; Hock, B.: Fugen und Aussteifungen. Forschungsbericht. Institut für Massivbau, Universität Stuttgart, April 1984.
- /4/ Krampf, L.: Brandverlauf und Schäden bei Großbränden. VFDB-Zeitschrift, Forschung und Technik im Brandschutz, Heft 1, Januar 1984.
- /5/ Richter, E.; Aufmuth, U.: Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls, Teil II. Zwischenbericht zum gleichnamigen Untersuchungsvorhaben, Juli 1984.
- /6/ DIN 52 460, Fugen- und Glasbeschichtungen, August 1979.
- /7/ DIN 4102 Teil 2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; September 1977.
- /8/ DIN 1045 Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung; Dezember 1978.
- /9/ Kordina, K.; Meyer-Ottens, C.: Beton-Brandschutz-Handbuch, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1981.
- /10/ Linder, R.: Abdichtung von Bauwerken. Betonkalender 66 (1977), Teil II, S. 619 ff.

- /11/ Franz, G.: Konstruktionslehre des Stahlbetons, Band I, Grundlagen und Bauelemente, 4. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
- /12/ Aigner, H.: Fugenprobleme im Hochbau. Mayreder-Firmenzeitschrift 5/79, S. 2-8.
- /13/ Rybicki, R.;; Schäden und Mängel an Baukonstruktionen. Werner-Verlag, Düsseldorf, 1970.
- /14/ Schild; Oswald; Rogier; Schweikert: Schwachstellen, Band I. Bauverlag Wiesbaden, 1978.
- /15/ Schneider, K.H.; Zuber, E.; Müller, W.; Schneider, K.: KS-Mauerwerk, Konstruktion und Statik. Beton-Verlag Düsseldorf, 1975.
- /16/ Meng, W., Ritter von: Fugen und Fugenkonstruktion im Beton- und Stahlbetonbau. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1966.
- /17/ Schwarz, J.: Zur qualitätsgerechten Ausführung von Fugen im Montagebau. Bauplanung-Bautechnik 32(1978), S. 532-536.
- /18/ Pilny, F.: Risse und Fugen in Bauwerken, Springer-Verlag Wien, New York, 1981.
- /19/ ISO: "Fire Resistance Tests- Elements of building construction." International Standard 834, November 1975
- /20/ Wesche, J.: Stahlbetondurchlaufkonstruktionen unter Feuerangriff. Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1974.
- /21/ Schneider, U., Haksever, A.: Bestimmung der äquivalenten Branddauer von statisch bestimmt gelagerten Stahlbetonbalken bei natürlichen Bränden. Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1976.

- /22/ Krampf, L.: Einfluß elastischer Randeinspannungen auf das Tragverhalten von einachsig gespannten, durchlaufenden Platten bei Einwirkung hoher Temperaturen (Teil I und II). Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1969/1970
- /23/ Meyer-Ottens, C.: Untersuchungen an Wänden, Decken und Dachendeckungen. Berichte aus der Bauforschung, Heft 70, 1971.
- /24/ Bechtold, R., Ehlert, K.P., Wesche, J.: Brandversuche an einem zum Abbruch bestimmten viergeschossigen modernen Wohnhaus in Lehrte. Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1977.
- /25/ Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen" der Technischen Universität Braunschweig. Untersuchungen im Teilprojekt A2 "Brandverhalten von Flächentragwerken, insbesondere Deckenkonstruktionen aus Stahlbeton und Spannbeton", 1982.

Verzeichnis der Anlagen

1 Einleitung

keine Anlagen vorhanden

2 Fugenbeanspruchungen im Brandfall

2.1 Maximale Fugenabstände, Angabe in Metern, aus /3/

3 Brandversuche

- 3.1a Zusammenstellung der Brandversuch
- 3.1b Zusammenstellung der Brandversuche (Fortsetzung)
- 3.1c Zusammenstellung der Brandversuche (Fortsetzung)
- 3.2 Versuchskörper: Geschweißte Stahlkonstruktion und Leichtbetonplatte
- 3.3 Versuchskörper: Stahlbetonbalken b/d= 200/100 mm
- 3.4 Versuchskörper: Stahlbetonbalken b/d= 200/150 mm
- 3.5 Versuchskörper: Stahlbetonbalken z-förmig
- 3.6 Versuchsaufbau: Aufgehängter Versuchskörper
- 3.7 Versuchsaufbau: Aufgelegter Versuchskörper

4 Versuchsergebnisse

- 4.1 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 1
- 4.2 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 2
- 4.3 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 3
- 4.4 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 4
- 4.5 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 5
- 4.6 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 6
- 4.7 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 7
- 4.8 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 8
- 4.9 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 9
- 4.10 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 10
- 4.11 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 11

- 4.12 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 12
- 4.13 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 13
- 4.14 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 14
- 4.15 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 15
- 4.16 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 16
- 4.17 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 17
- 4.18 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 18
- 4.19 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 19
- 4.20 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 20
- 4.21 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 21
- 4.22 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 22
- 4.23 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 23
- 4.24 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 24
- 4.25 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 25
- 4.26 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 26
- 4.27 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 27
- 4.28 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 28
- 4.29 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 29
- 4.30 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 30
- 4.31 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 31
- 4.32 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 32
- 4.33 Temperaturmessung an der Fugenoberfläche: Versuch 33

4.34 bis 4.40 - nicht vorhanden

- 4.41 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 1
- 4.42 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 2
- 4.43 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 3
- 4.44 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 4
- 4.45 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 5
- 4.46 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 6
- 4.47 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 7
- 4.48 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 8
- 4.49 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 9
- 4.50 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 10
- 4.51 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 11
- 4.52 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 12
- 4.53 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 13
- 4.54 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 14

- 4.55 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 15
- 4.56 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 16
- 4.57 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 17
- 4.58 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 18
- 4.59 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 19
- 4.60 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 20
- 4.61 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 21
- 4.62 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 22
- 4.63 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 23
- 4.64 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 24
- 4.65 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 25
- 4.66 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 26
- 4.67 Temperaturentwicklung in der Fuge: Versuch 27

- 4.68 bis 4.71 - nicht vorhanden

- 4.72 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 2
- 4.73 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 3
- 4.74 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 4
- 4.75 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 5
- 4.76 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 6
- 4.77 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 7
- 4.78 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 8
- 4.79 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 9
- 4.80 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 10
- 4.81 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 11
- 4.82 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 12
- 4.83 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 13
- 4.84 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 14
- 4.85 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 15
- 4.86 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 16
- 4.87 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 17
- 4.88 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 18
- 4.89 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 19
- 4.90 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 20
- 4.91 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 21
- 4.92 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 22
- 4.93 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 23
- 4.94 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 24

- 4.95 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 25
- 4.96 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 26
- 4.97 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 27
- 4.98 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 28
- 4.99 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 29
- 4.100 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 30
- 4.101 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 31
- 4.102 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 32
- 4.103 Temperaturmessung an der Betonoberfläche: Versuch 33

4.104 bis 4.110 - nicht vorhanden

- 4.111 Besondere Beobachtungen: Versuch 1
- 4.112 Besondere Beobachtungen: Versuch 2
- 4.113 Besondere Beobachtungen: Versuch 3
- 4.114 Besondere Beobachtungen: Versuch 4
- 4.115 Besondere Beobachtungen: Versuch 5
- 4.116 Besondere Beobachtungen: Versuch 6
- 4.117 Besondere Beobachtungen: Versuch 7
- 4.118 Besondere Beobachtungen: Versuch 8
- 4.119 Besondere Beobachtungen: Versuch 9
- 4.120 Besondere Beobachtungen: Versuch 10
- 4.121 Besondere Beobachtungen: Versuch 11
- 4.122 Besondere Beobachtungen: Versuch 12
- 4.123 Besondere Beobachtungen: Versuch 13
- 4.124 Besondere Beobachtungen: Versuch 14
- 4.125 Besondere Beobachtungen: Versuch 15
- 4.126 Besondere Beobachtungen: Versuch 16
- 4.127 Besondere Beobachtungen: Versuch 17
- 4.128 Besondere Beobachtungen: Versuch 18
- 4.129 Besondere Beobachtungen: Versuch 19
- 4.130 Besondere Beobachtungen: Versuch 20
- 4.131 Besondere Beobachtungen: Versuch 21
- 4.132 Besondere Beobachtungen: Versuch 22
- 4.133 Besondere Beobachtungen: Versuch 23
- 4.134 Besondere Beobachtungen: Versuch 24
- 4.135 Besondere Beobachtungen: Versuch 25
- 4.136 Besondere Beobachtungen: Versuch 26
- 4.137 Besondere Beobachtungen: Versuch 27

- 4.138 Besondere Beobachtungen: Versuch 28
- 4.139 Besondere Beobachtungen: Versuch 29
- 4.140 Besondere Beobachtungen: Versuch 30
- 4.141 Besondere Beobachtungen: Versuch 31
- 4.142 Besondere Beobachtungen: Versuch 32
- 4.143 Besondere Beobachtungen: Versuch 33

4.144 bis 4.149 - nicht vorhanden

4.150 Brandraumtemperaturen im Versuch (Beispiel)

4.151 Steuerfunktion im Versuch 6

5 Beurteilung der Versuchsergebnisse im Hinblick auf eine Anwendung in der Praxis

keine Anlagen vorhanden

6 Zusammenfassung

keine Anlagen vorhanden

BAUFORSCHUNG

DER MINISTER FÜR LANDES- UND STADTENTWICKLUNG
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Kurzfassung des Abschlußberichtes.

Forschungsthema: Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls, Teil II

Forschende Stelle: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der
Technischen Universität Braunschweig

Datum der Vergabe: 23.10.1981

1. Ziel der Untersuchung.

Entwurf und Prüfung von praxisgerechten Dehnfugenausbildungen, die unter Berücksichtigung der während eines Brandfalls zu erwartenden Fugenrandbewegungen (Verdrehung, Scherung und/oder Verschiebung) die Anforderungen von DIN 4102 erfüllen.

2. Ergebnis der Untersuchung.

Im vorliegenden Bericht werden Ergebnisse von Untersuchungen an Dehnfugen unter Normbrandbeanspruchung mitgeteilt. Die Ergebnisse aus den insgesamt durchgeführten 33 Brandversuchen werden in Tabellen zusammengefaßt, die die geprüften Dehnfugenausbildungen unter Berücksichtigung der zu erwartenden Fugenrandbewegungen im Brandfall enthalten.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse lassen sich für brandbeanspruchte parallelwandige Dehnfugen, die die Einstufung in die Feuerwiderstandsklasse F 90 - Benennung F90-AB - erfüllen, folgende grundsätzliche Ausbildungsdetails ableiten:

- Die Dehnfuge muß mit einem Fugenfüllstoff verfüllt werden,
- der Fugenfüllstoff muß aus nicht brennbarem Baustoff bestehen, und
- er muß gestaut eingebaut werden.
- Die Fugendichtungsmasse darf aus brennbarem Baustoff bestehen,
- sie muß auf der dem Feuer abgekehrten Seite und sie darf auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Fuge angeordnet werden.

Die vorstehend aufgeführten Ausbildungsdetails ermöglichen es, praxisgerechte Dehnfugenausführungen für die meisten über eine Branddauer von mindestens 90 Minuten zu erwartenden Fugenrandbewegungen anzubieten. Entsprechend der Fugenrandbewegung muß beachtet werden:

- Bei überwiegender Fugenrandverdrehung oder überwiegender Fugenrandverschiebung muß der Fugenfüllstoff an beiden Fugenflanken angeklebt werden,
- bei kombinierter Fugenrandbewegung aus Scherung und Verdrehung darf der Fugenfüllstoff nicht an die Fugenflanken angeklebt werden.
- Die im Bauwerk beim Brand zu erwartende Fugenrandbewegung muß der im Versuch aufgetragenen Fugenrandbewegung entsprechen.

3. Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen.

3.1 Welche Empfehlungen können für die weitere Normungsarbeit bzw. hinsichtlich Ergänzung oder Änderung bestehender Normen, Richtlinien und dgl. gegeben werden ?

Fugenrandbewegungen in Form von Verschiebungen und Verdrehungen quer zur Fugenlängsachse scheinen nach den in diesem Untersuchungsvorhaben erarbeiteten Ergebnissen die höchsten Brandschutzanforderungen an die Fugenausführung zu stellen. Das derzeitige Prüfverfahren zur Beurteilung des Brandverhaltens von Fugendichtungen sollte um diese "kritischen" Fugenrandbewegungen erweitert werden.

3.2 Erscheinen weitere Arbeiten zur Abklärung offengebliebener Fragen, die mit den durchgeführten Untersuchungen im Zusammenhang stehen, erforderlich und welche Arbeiten sind besonders vorrangig ?

Die erarbeiteten Ergebnisse stellen den ersten Schritt in Richtung auf eine gezielte brandschutztechnische Bemessung von Dehnfugen dar. Der zweite Schritt, der nicht Gegenstand des hier abgeschlossenen Untersuchungsvorhabens ist, erfordert eine detaillierte Festlegung der im Brandfall zu erwartenden Fugenrandbewegungen. Dabei sollten insbesondere die Bauart des Gebäudes, seine Aussteifung, die Stützenschlankheit und vor allen Dingen der vorhandene Dehnfugenabstand, die Lage der Dehnfuge im Gebäude und damit auch die Lage des Brandes im Gebäude berücksichtigt werden.

Zusammen mit den für das jeweilige Gebäude zu erwartenden, in realistischer Größenordnung abgeschätzten Fugenrandbewegung bieten dann die im vorliegenden Untersuchungsvorhaben erarbeiteten Ergebnisse die Möglichkeit für eine konstruktiv und wirtschaftlich befriedigende Dehnfugenausbildung.

3.3 Welche Folgerungen können für die Baupraxis aus den Untersuchungsergebnissen gezogen werden; hierbei ist auf bestehende Richtlinien besonders Rücksicht zu nehmen ?

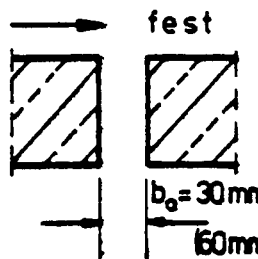
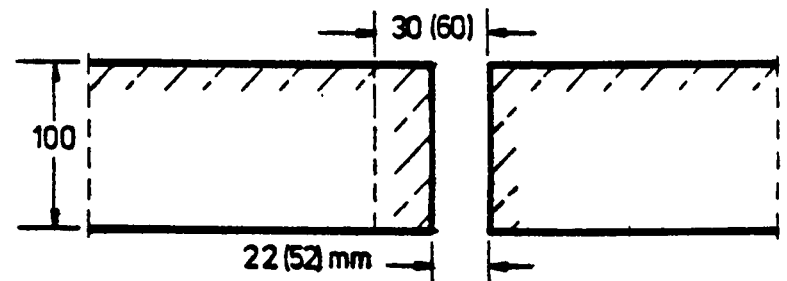
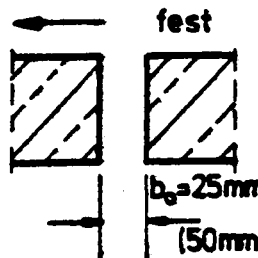
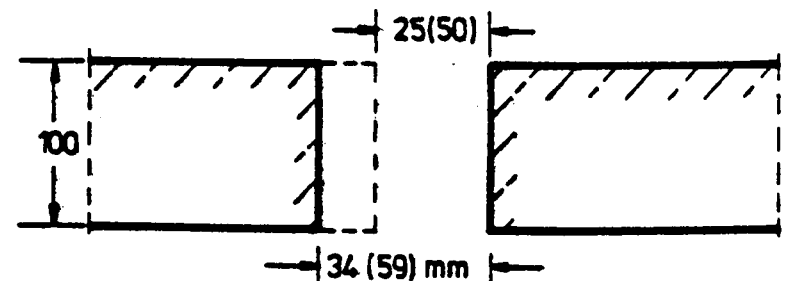
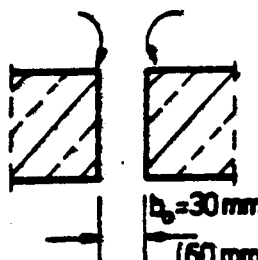
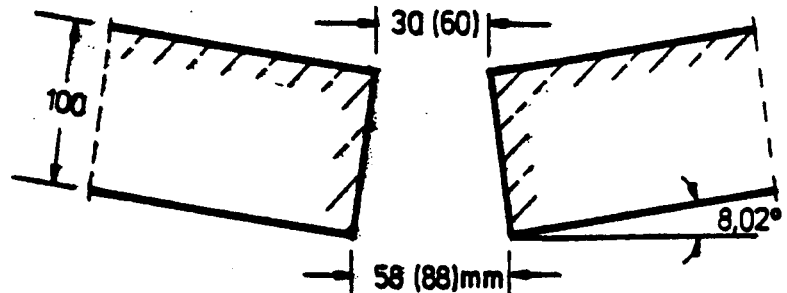
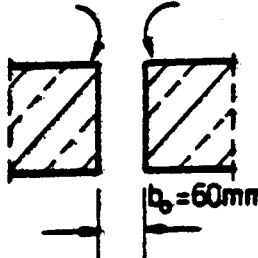
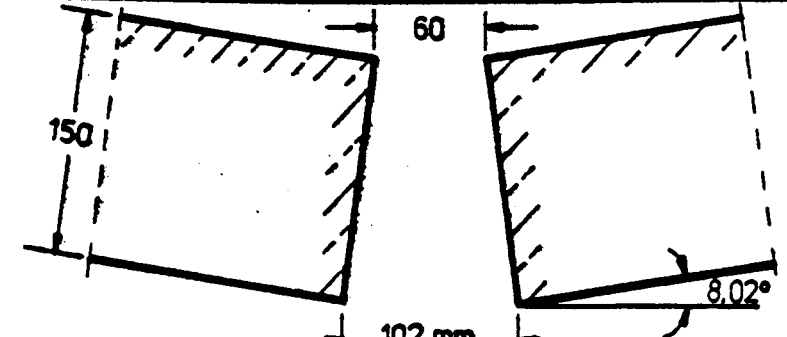
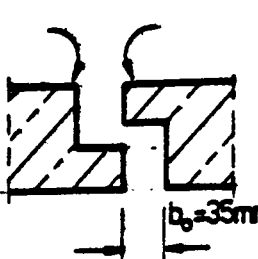
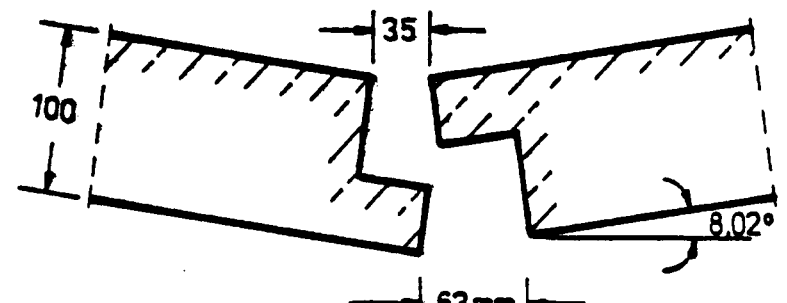
1. Die brandschutztechnisch erforderliche Ausbildung der Dehnfuge wird entscheidend von der im Bauwerk überwiegend zu erwartenden Fugenrandbewegung bestimmt.
2. Die im Untersuchungsbericht für Dehnfugen nach DIN 1045, Abschnitt 14.4 aufgeführten Fugenausbildungen können in die Feuerwiderstandsklasse F 90 - Benennung F 90-AB - eingestuft werden, wenn die im Bauwerk überwiegend zu erwartende Fugenrandbewegung mit der im Versuch vorhandenen Fugenrandbewegung übereinstimmt und die an die Fuge angrenzende Decke der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse angehört.
3. Die an Deckenausschnitten ermittelten Untersuchungsergebnisse, d.h. die Dehnfugenlängsachse verlief horizontal, können nicht in jedem Fall auf Dehnfugen in Wänden, d.h. die Dehnfugenlängsachse verläuft vertikal, übertragen werden.

	Linder [10]	Franz [11]	Aigner [12]	Rybicki [13]	Schild [14]	Schneider [15]	Meng [16]	Schwarz [17]	Pilny [18]
Fundamentplatten mit el. Oberkonstr. mit steifer Oberkonstr.	30-40 15-25			30-40 15-25					
geschl. Fundamentkörper für Maschinen			25						
Geschoßbauten eingeschossig			50-80 je n. Schlankht. u. Stützenlast	36-72 je n. Aussteifg.				48-120	25-30
Skelettbauten mit el. Unterkonstruktion	30-40	30-60	60-80	30-48				72	
Skelettbauten mit steifer Unterkonstr.	15-25	15-25	Fertigteile	15-25					
Skelett b. mit verkleideter Tragkonstr. (Brandsch.)			70						
Hallen			120 (Stahl)	36-72 je n. Stützen- schlankht.					
Flachdachdecke auf Mauerwerk } mit Wärme- auf Stahlbetonkonstr. } dämmung	10-15			9-12 10-18			20-30		10-12
Flachdecke auf Mauerwerk } ohne Wärme- Geschoßdecke auf Mauerwerk } dämmung	5-6 20-30			5-6 20-24					
Balkone auf Mauerwerk auf Beton	15-20			5-6 8-10	4,0	4-6			8
Estrich innen				6					
Estrich auf Dächern mit Drahtgew. ohne Drahtgew.	4-6			3-6 15-30	1,5				3-4 1-1,5
Stützmauern auf Kies bewehrt	10-15	10-15							
unbewehrt	< 10								
auf Fels oder bewehrt	8-10	5-10							
Beton unbewehrt	< 5								< 10
Außenmauerwerk ohne Dämmung						25-30			
mit Außendämmung						50-55			
mit Innendämmung						15-20			

Dehnungen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
2.1

Vers. Nr.	Fugen - bewegung	Sollstellung nach 90 Minuten Branddauer
1-4	 <p>fest $b_0 = 30 \text{ mm}$ 60 mm</p>	 <p>100 30 (60) 22 (52) mm</p>
14, 15 22, 28	 <p>fest $b_0 = 25 \text{ mm}$ 50 mm</p>	 <p>100 25 (50) 34 (59) mm</p>
5-8 10, 13 29, 30	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$ 60 mm</p>	 <p>100 30 (60) 58 (88) mm 8.02°</p>
23	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 60 \text{ mm}$</p>	 <p>150 60 102 mm 8.02°</p>
12	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 35 \text{ mm}$</p>	 <p>100 35 63 mm 8.02°</p>

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

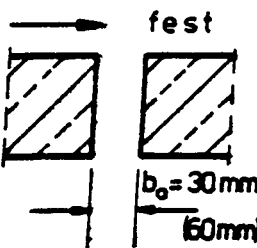
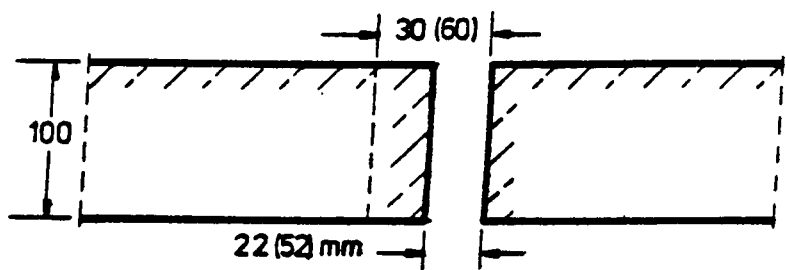
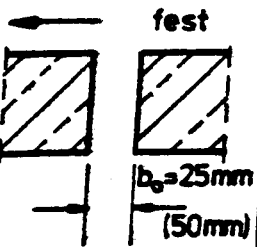
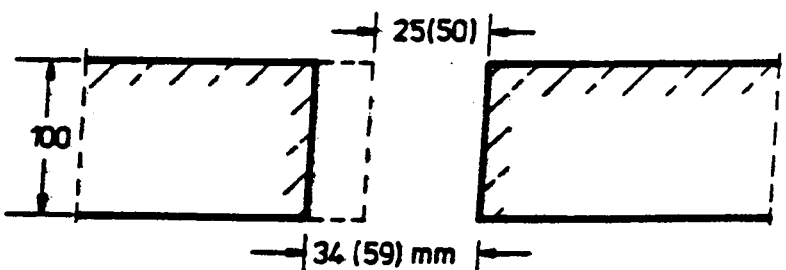
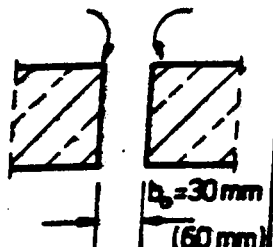
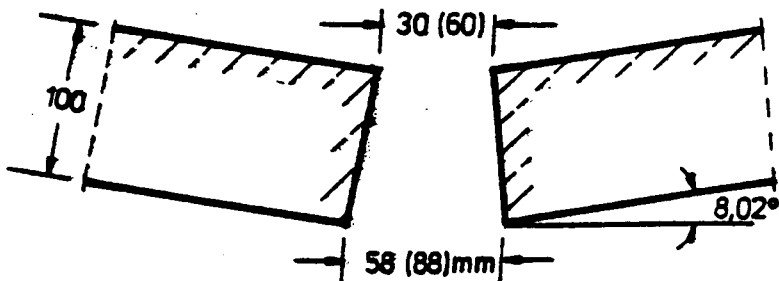
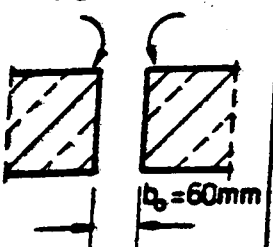
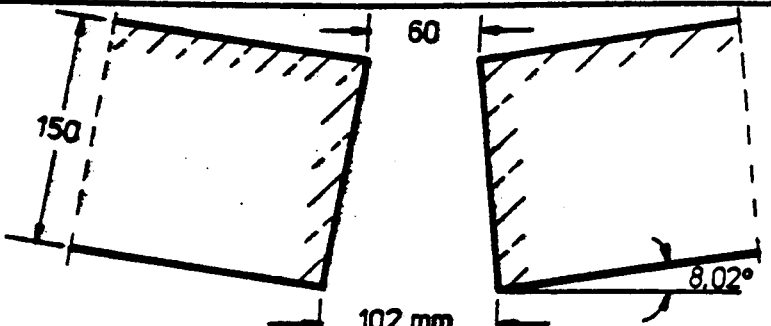
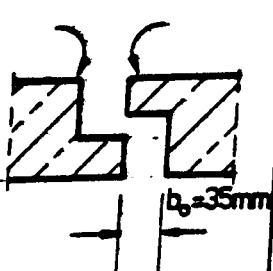
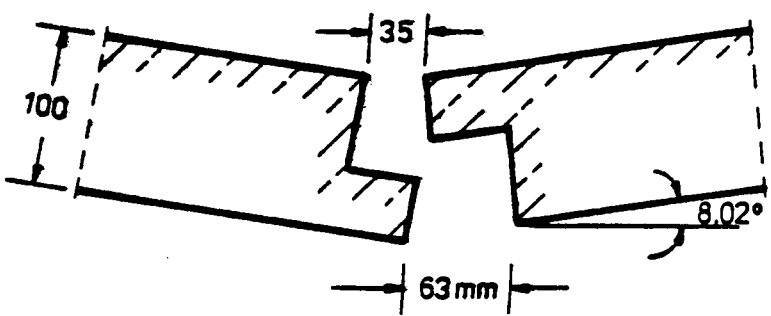
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.1a

Versuchsaufbau

Zusammenstellung der Brandversuche

Vers. Nr.	Fugenbewegung	Sollstellung nach 90 Minuten Branddauer
1-4	 <p>fest $b_0 = 30 \text{ mm}$ (60 mm)</p>	 <p>100 22 (52) mm 30 (60)</p>
14, 15 22, 28	 <p>fest $b_0 = 25 \text{ mm}$ (50 mm)</p>	 <p>100 34 (59) mm 25 (50)</p>
5-8 10, 13 29, 30	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 30 \text{ mm}$ (60 mm)</p>	 <p>100 58 (88) mm 30 (60) 8.02°</p>
23	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 60 \text{ mm}$</p>	 <p>150 102 mm 60 8.02°</p>
12	<p>Funktion I</p>  <p>$b_0 = 35 \text{ mm}$</p>	 <p>100 63 mm 35 8.02°</p>

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

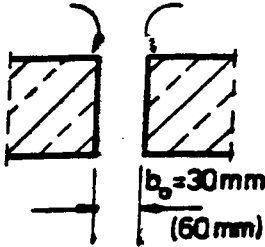
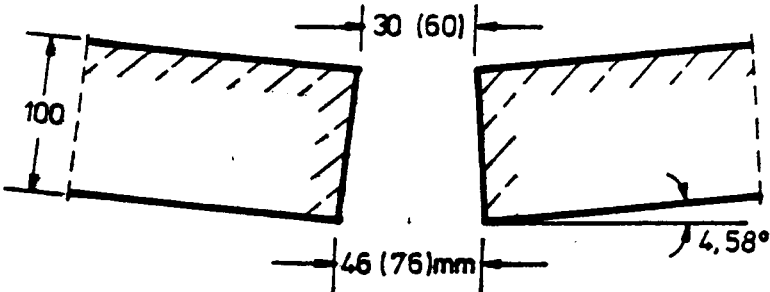
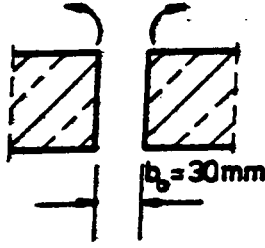
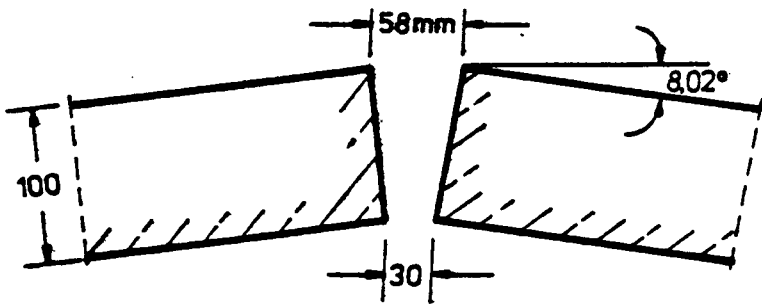
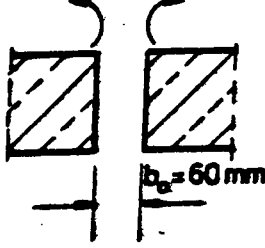
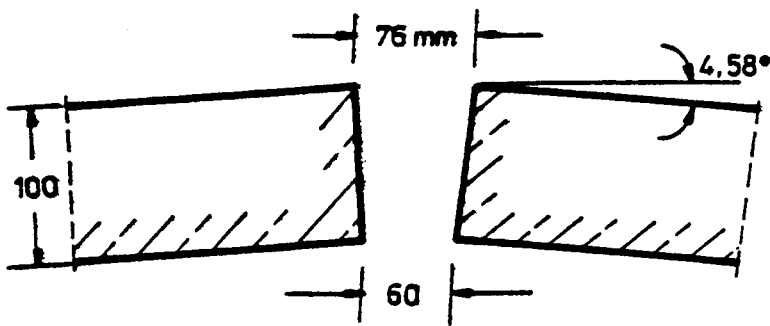
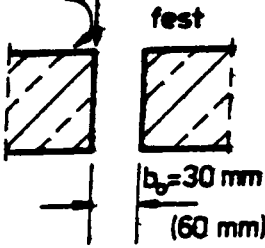
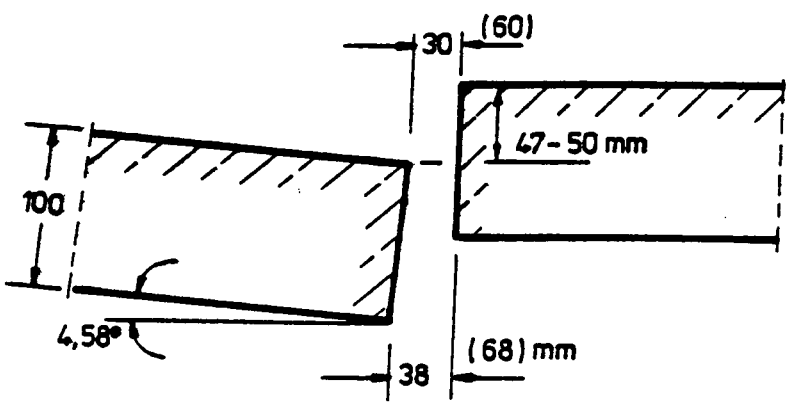
Antike Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.1a

Versuchsaufbau

Zusammenstellung der Brandversuche

Vers. Nr.	Fugenbewegung	Sollstellung nach 90 Minuten Branddauer
9, 11, 24	<p>Funktion II (abgemindert)</p> 	
19	<p>Funktion I</p> 	
25	<p>Funktion II (abgemindert)</p> 	
16 17, 18 21	<p>Funktion II (abgemindert)</p> <p>fest</p> 	

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

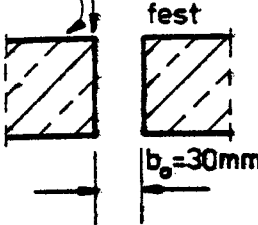
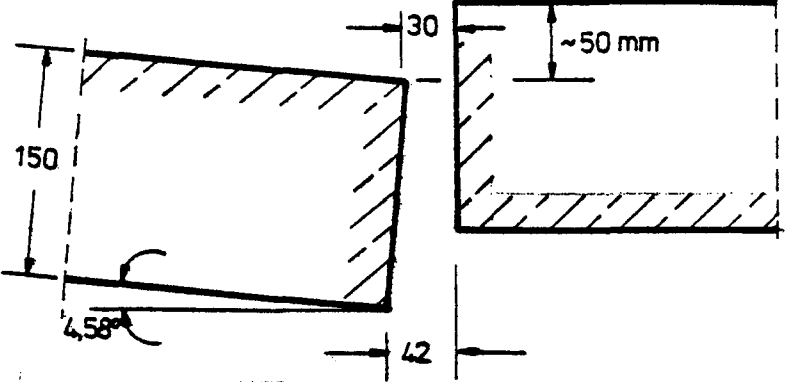
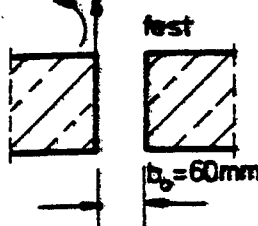
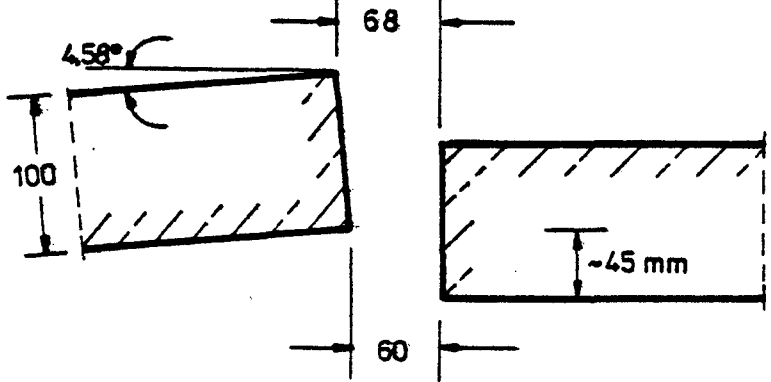
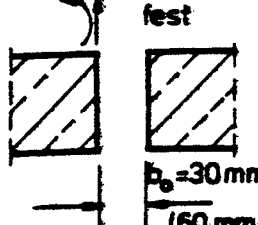
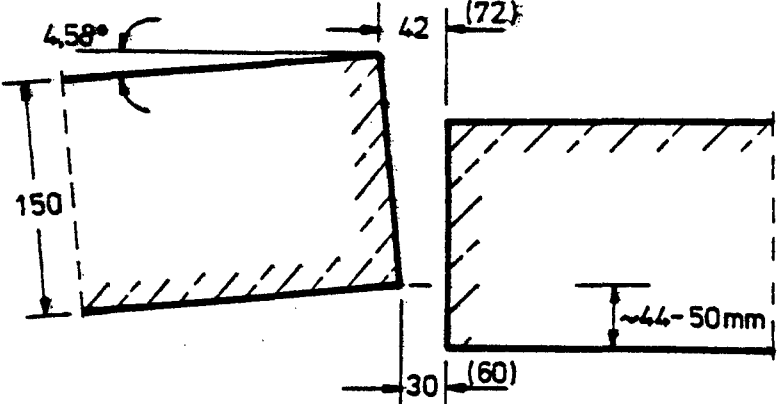
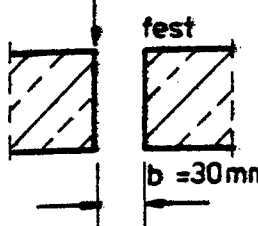
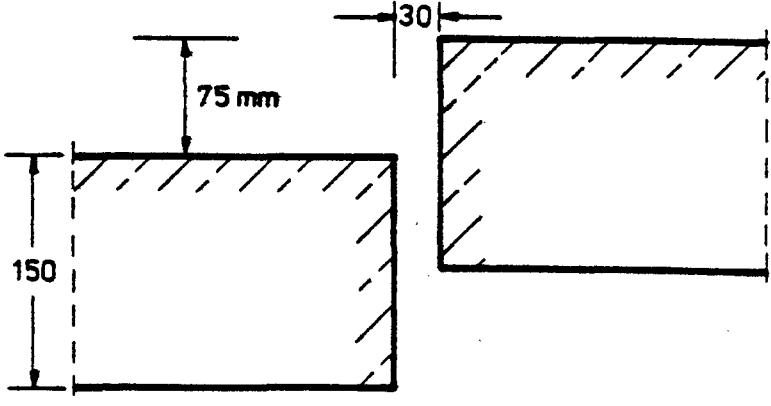
Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.1b

Versuchsaufbau

Zusammenstellung der Brandversuche

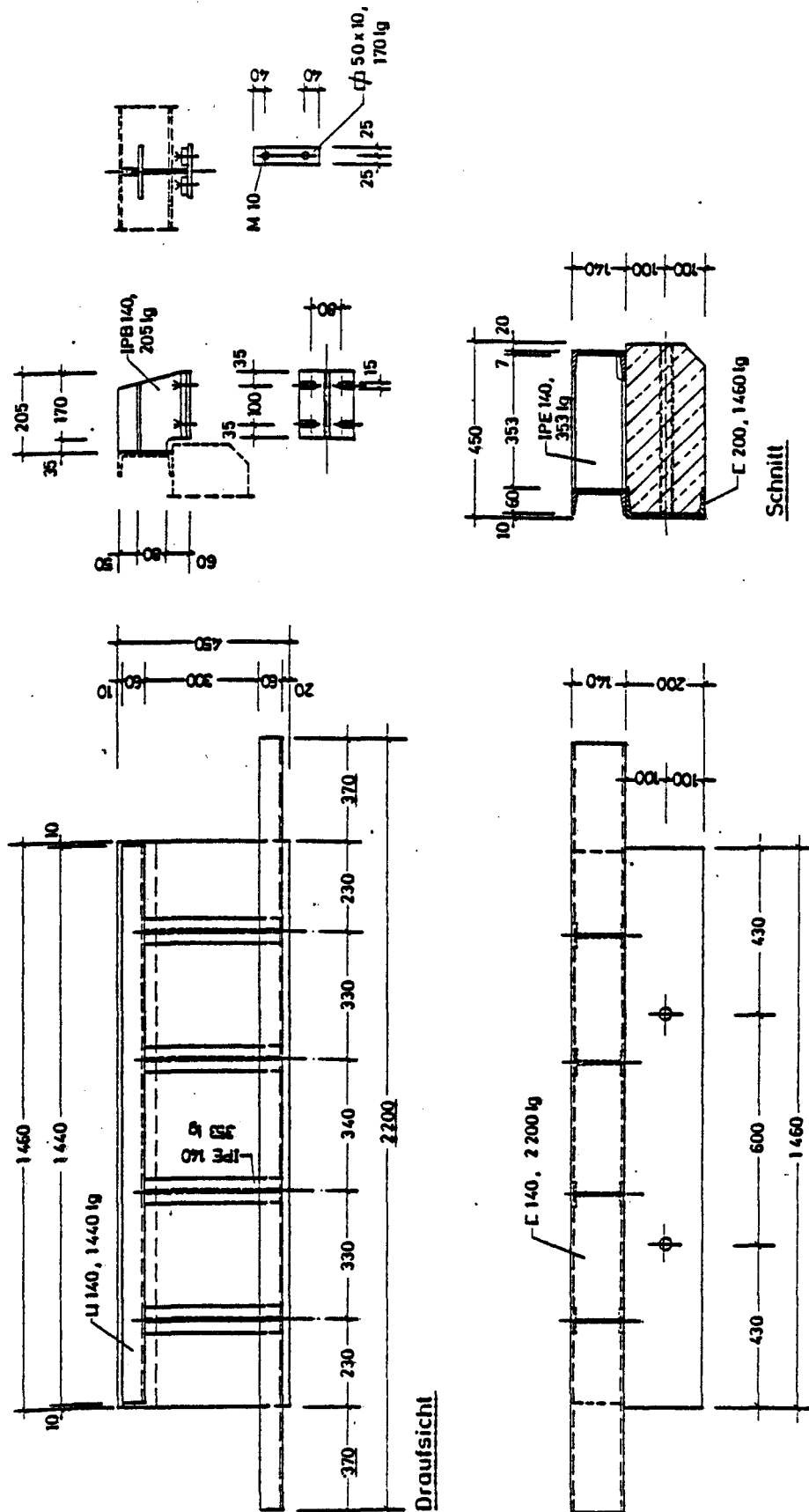
Vers. Nr.	Fugenbewegung	Sollstellung nach 90 Minuten Branddauer
20. 31	Funktion II (abgemindert) 	
26	Funktion II (abgemindert) 	
27 32	Funktion II (abgemindert) 	
33		

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.1c

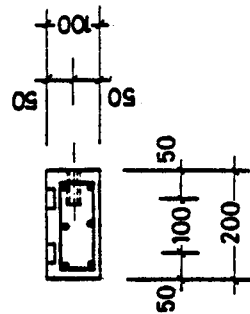


Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

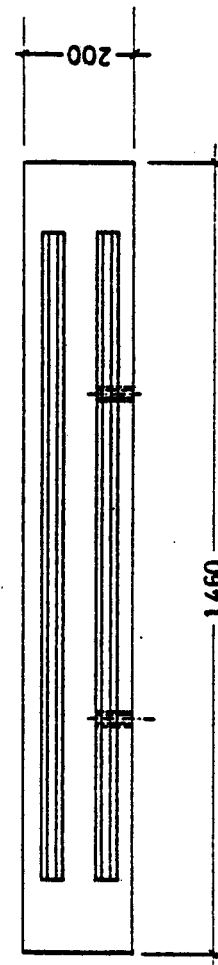
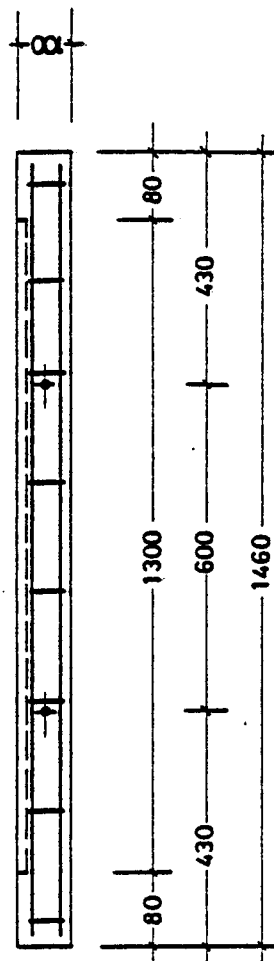
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.2



Pfeilerhülsen : 2000 kg (Rd 20 x 2,5)
 Halteisen : Profil HTA 28/15
 Haltschrauben: M 10



① 6 φ 8 III k, l = 1,42 m

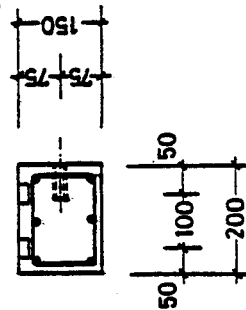
1,42

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
 Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

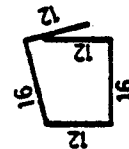
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

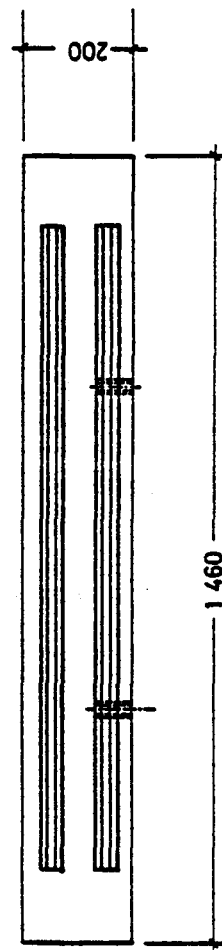
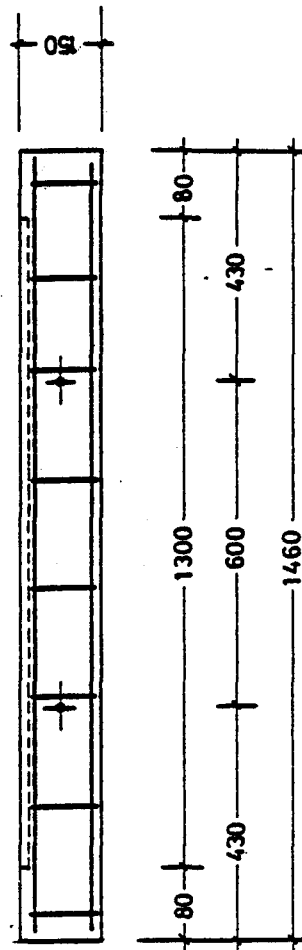
3.3



Prefertehülsen : 2000 kg (Rd 20 x 2,5)
 Halfeneisen : Profil HTA 28/15
 Halfenschrauben : M 10



② 3 ϕ 6 III K, $l = 0,53$ m



① 6 ϕ 8 III K, $l = 1,42$ m

1,42

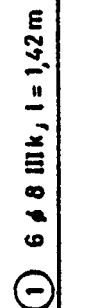
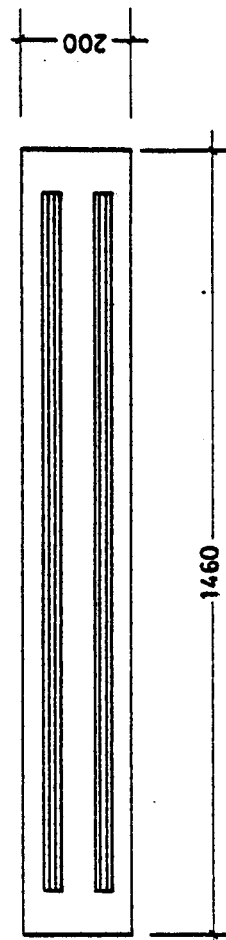
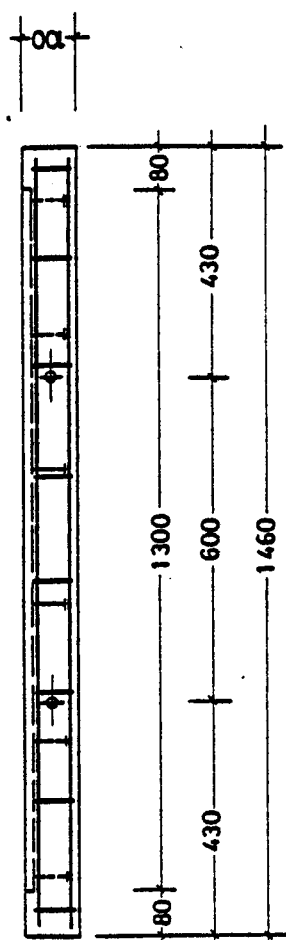
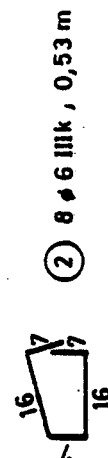
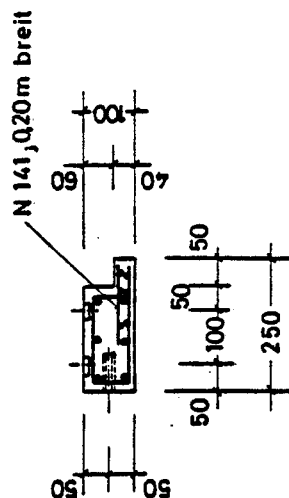
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
 Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.4

Versuchskörperherstellung Stahlbetonbalken z - förmig



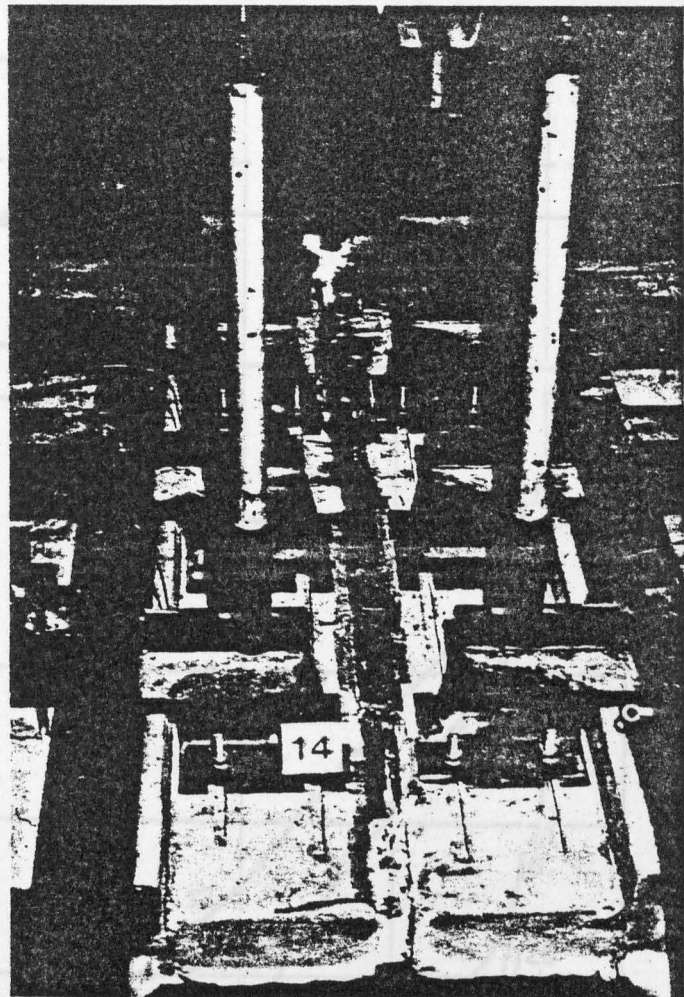
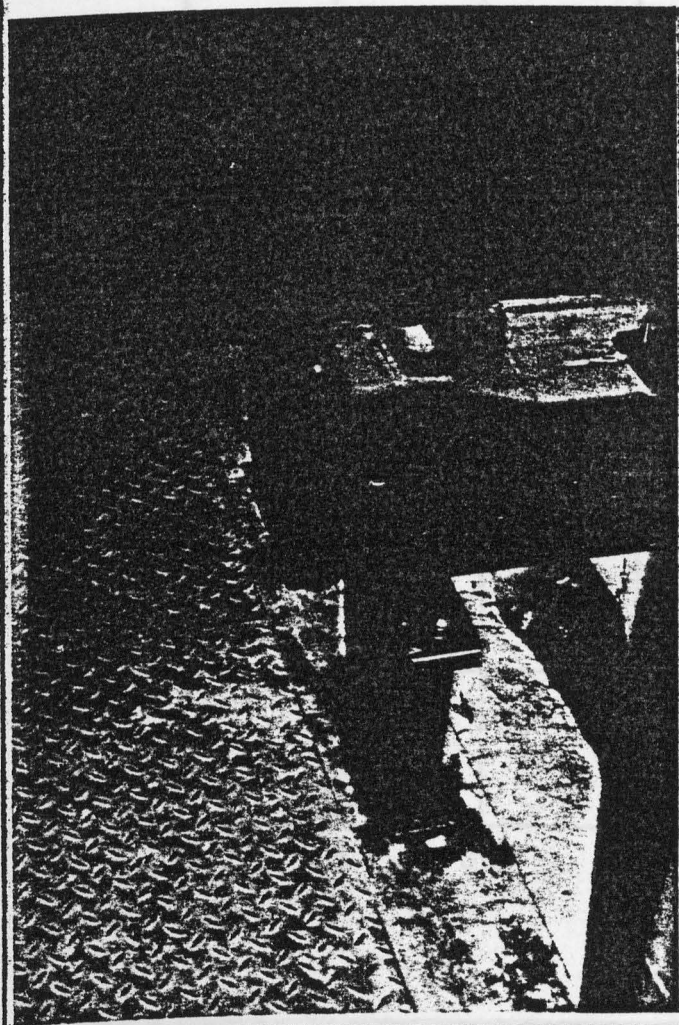
Dehn fugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.5

Versuchsaufbau und -durchführung



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

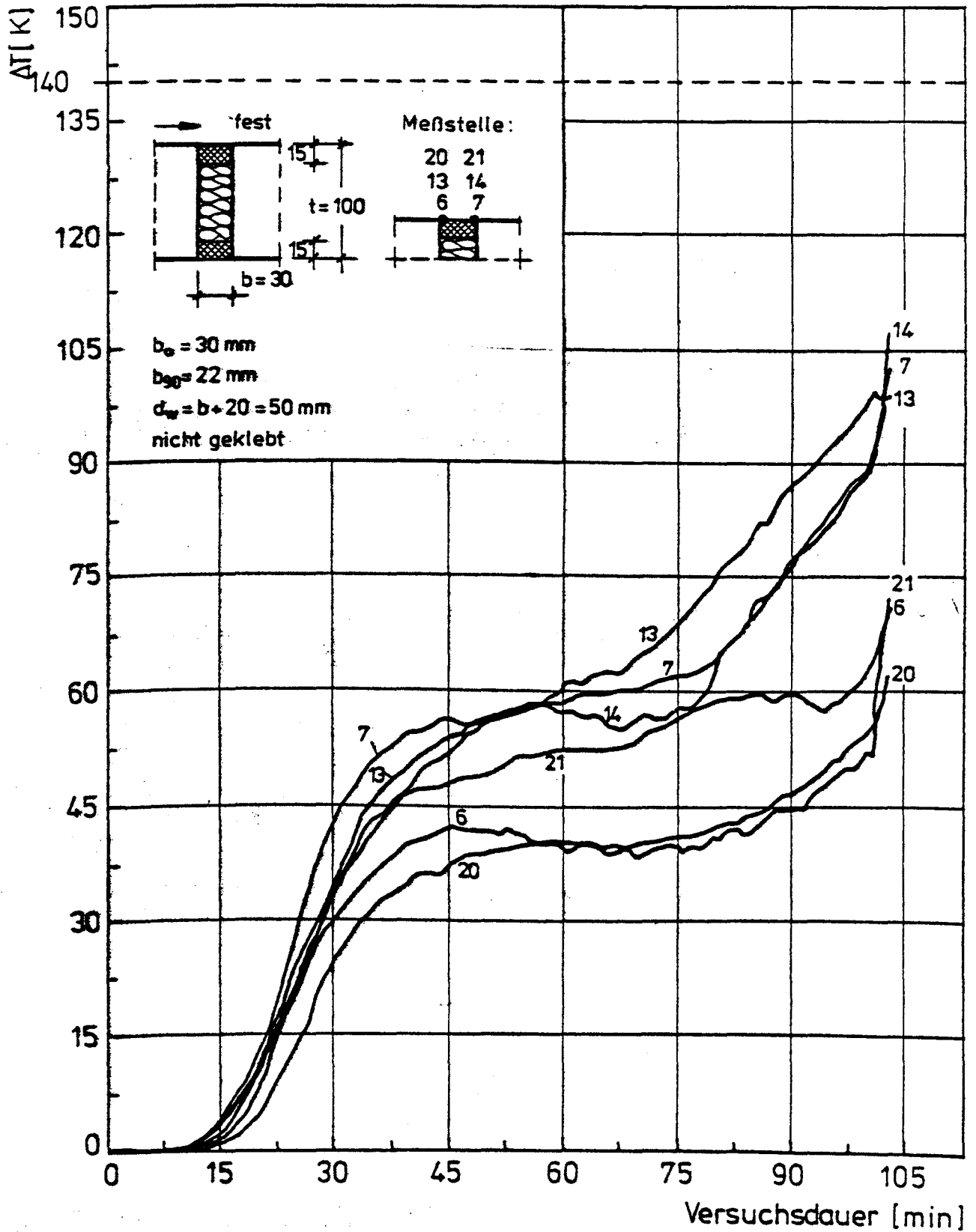
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

3.6 und 3.7

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 1



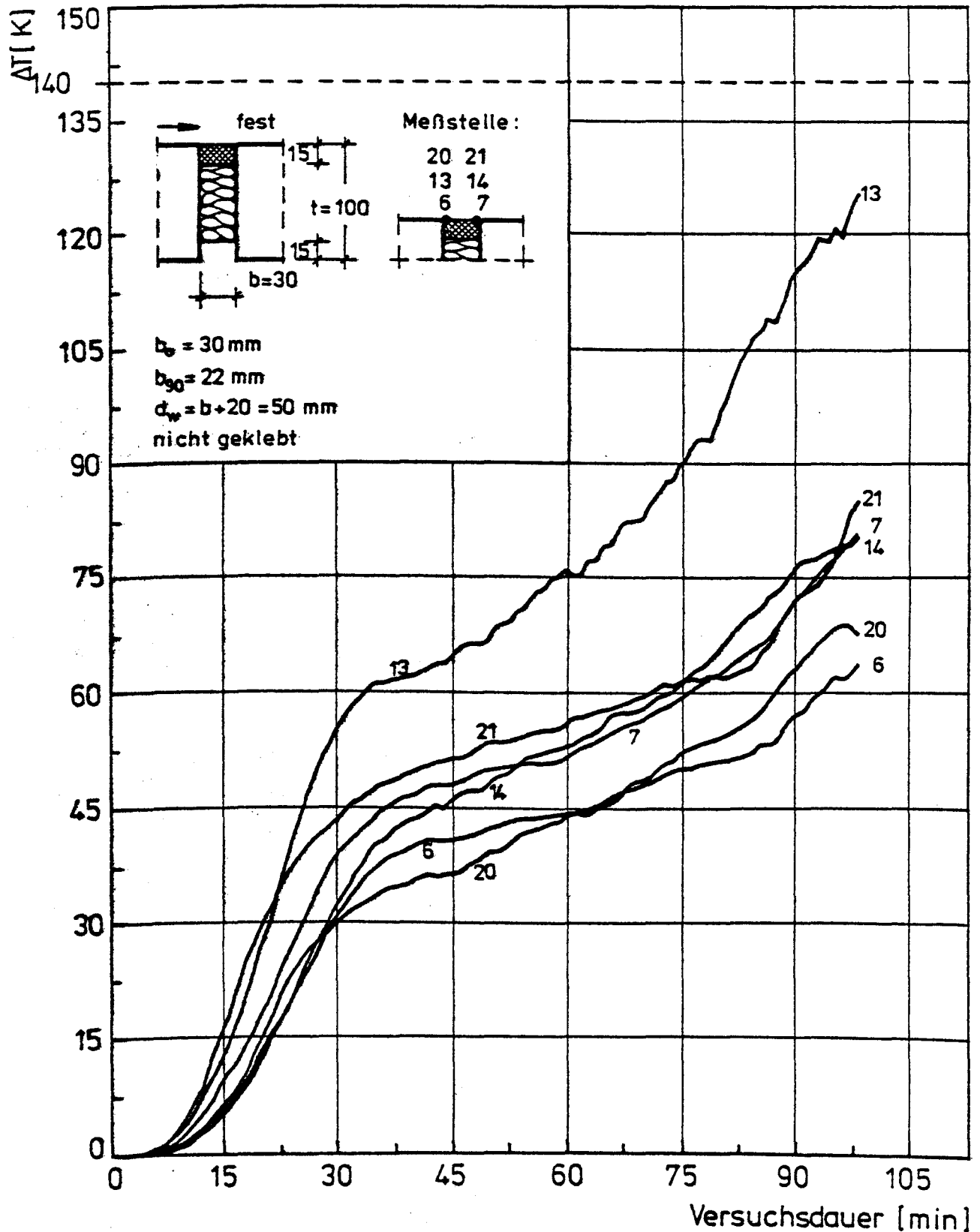
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.1

Versuch 2



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

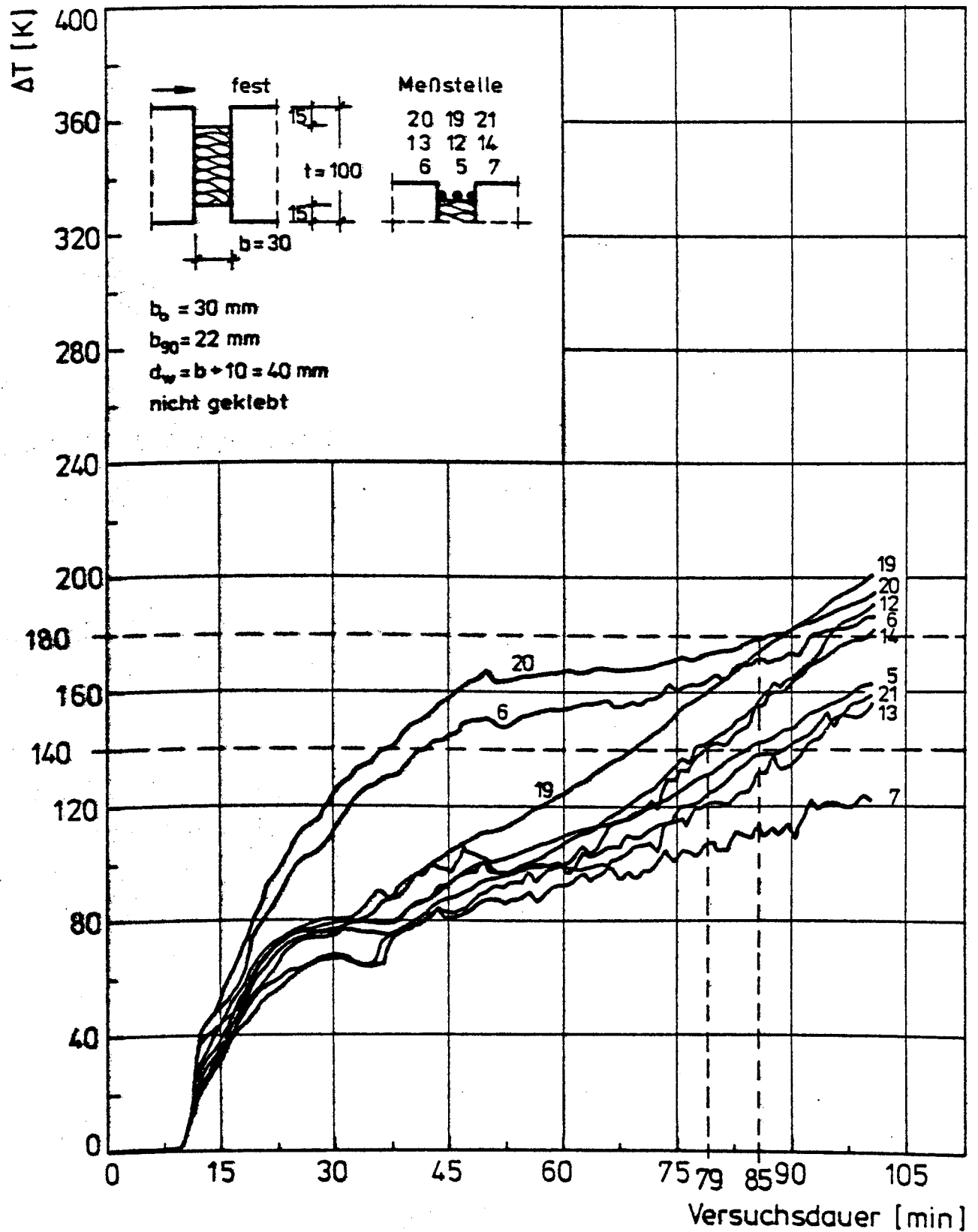
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.2

Temperaturmessung an der Oberfläche Versuch 3



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

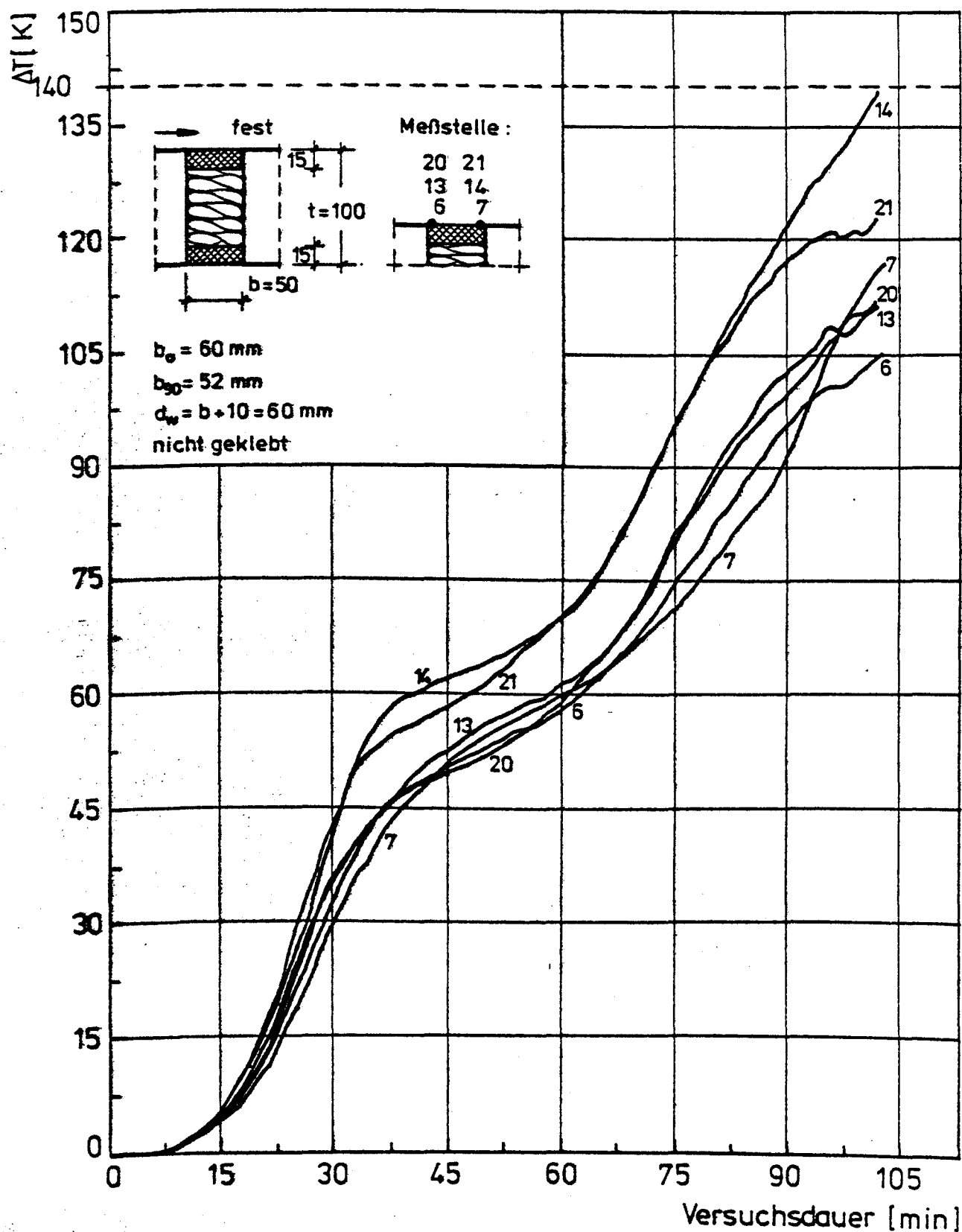
Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.3

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 4



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

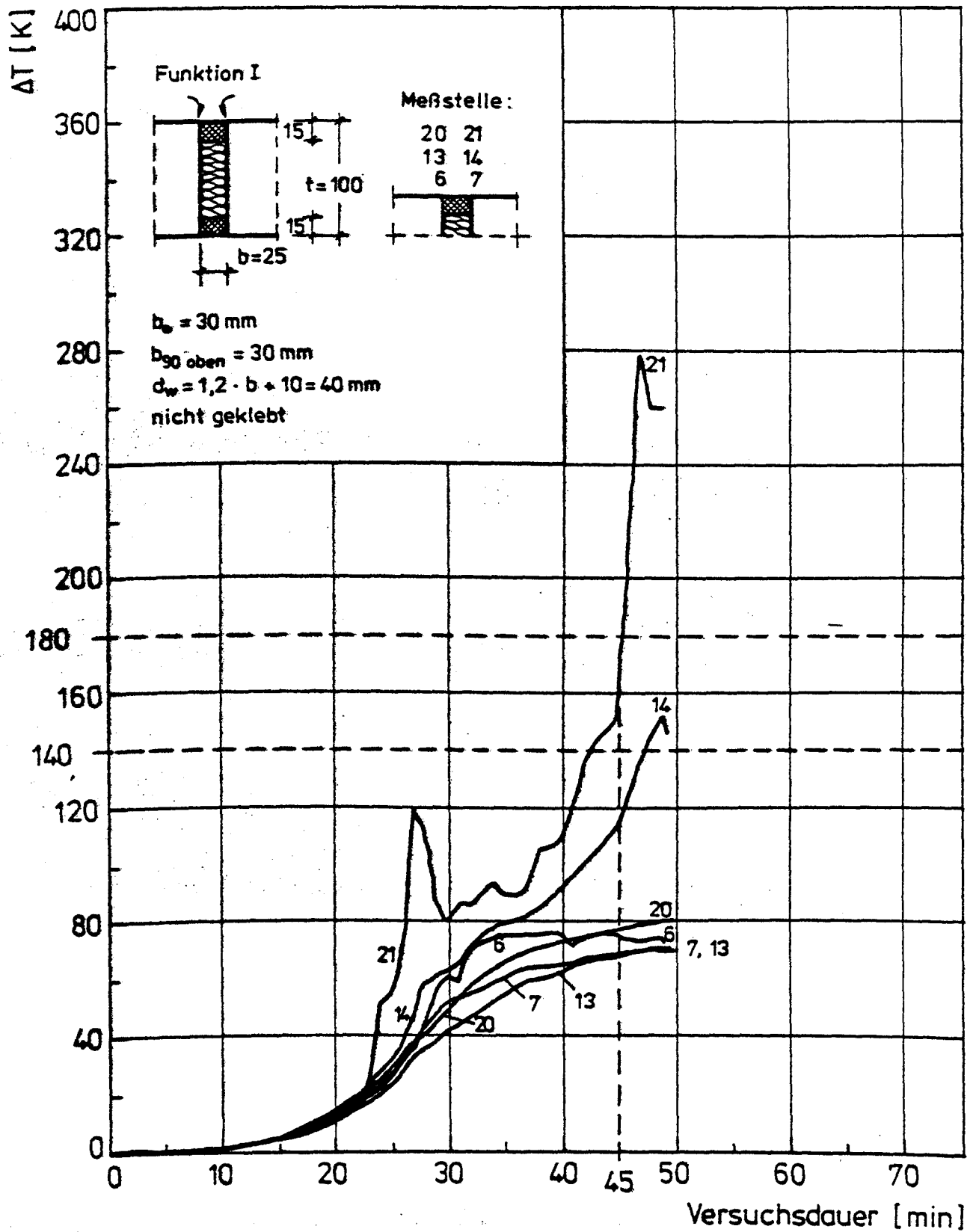
Antliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.4

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 5



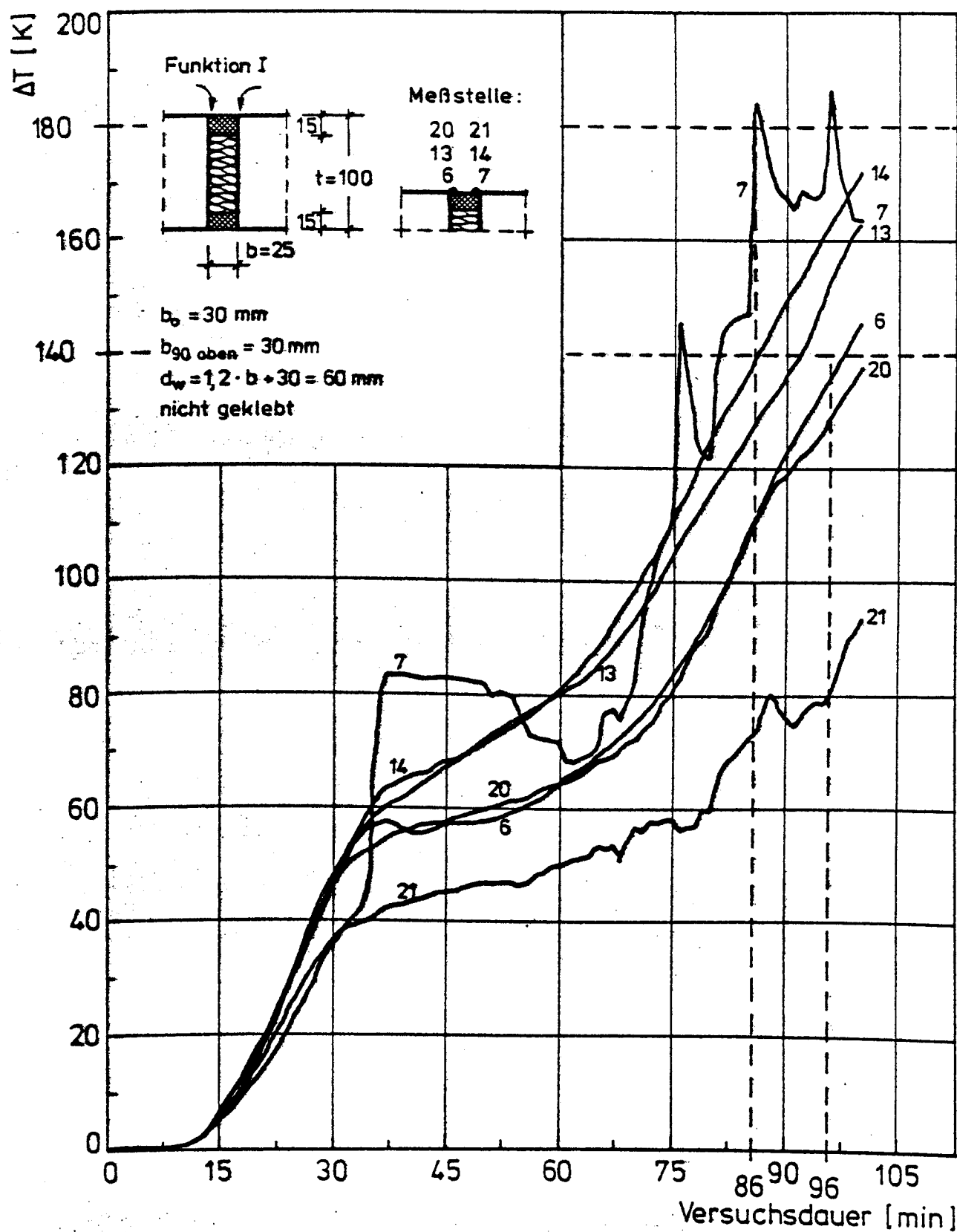
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.5

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 6



Dehnungen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

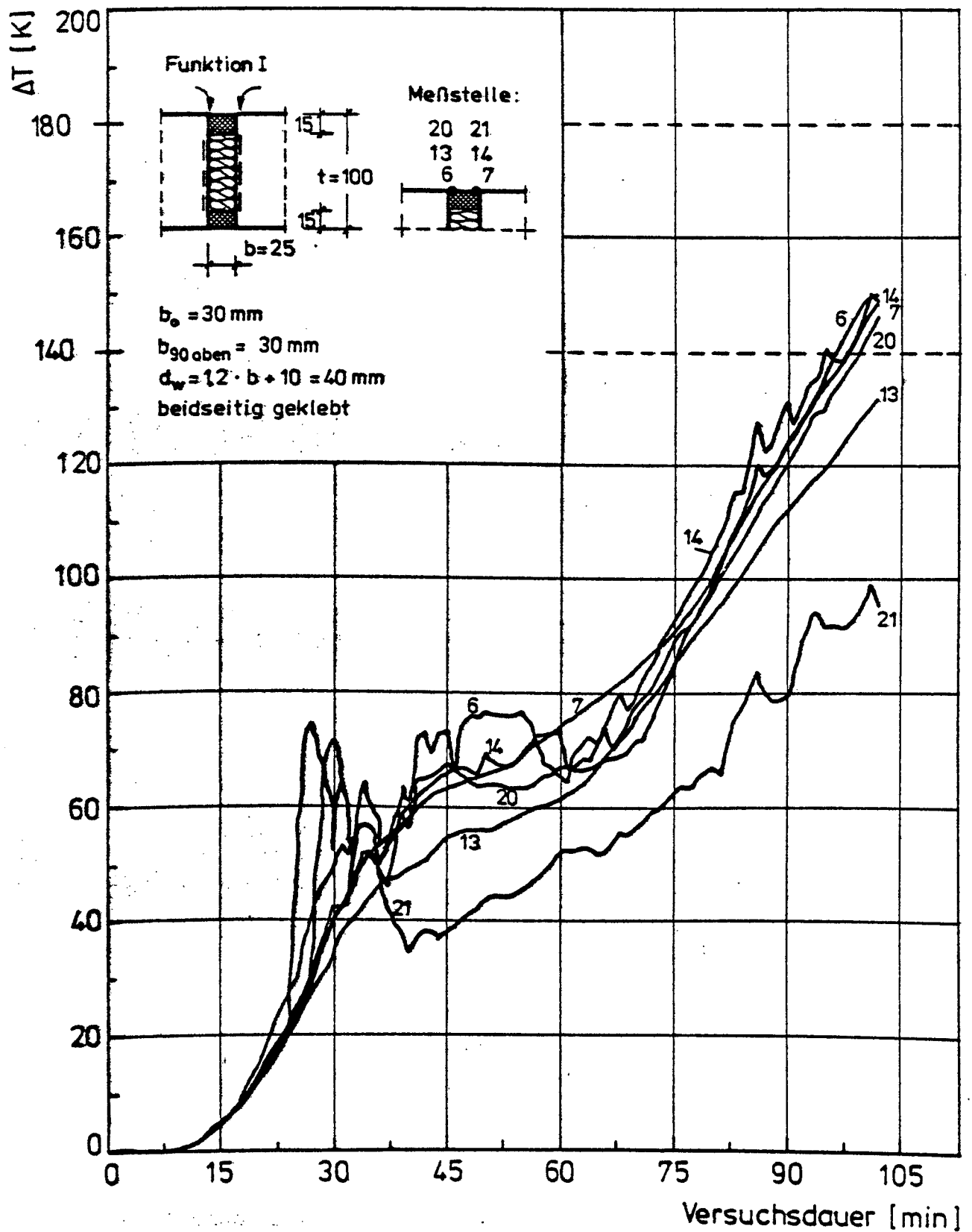
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.6

Temperaturmessung an der Oberfläche Versuch 7



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

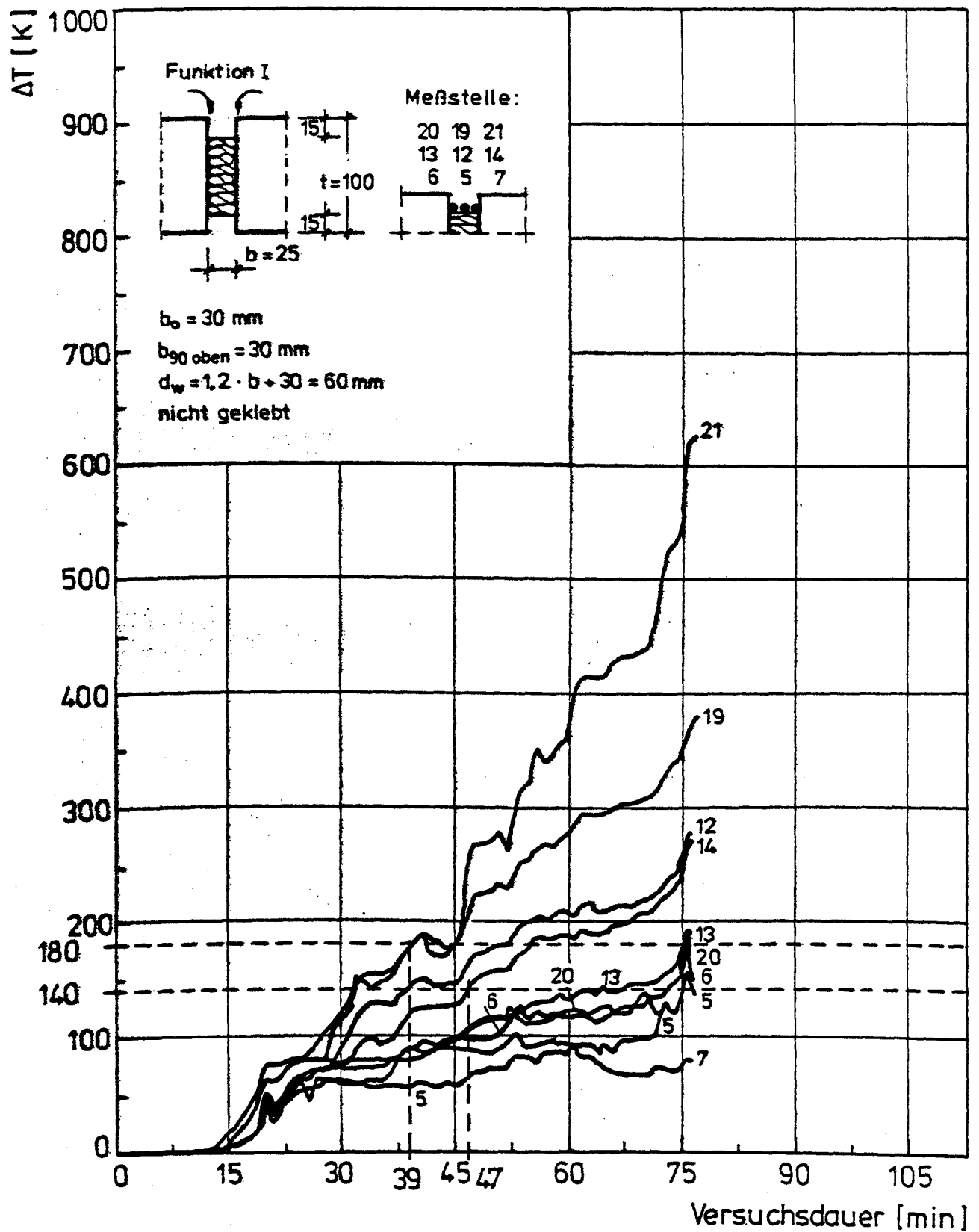
Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.7

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 8



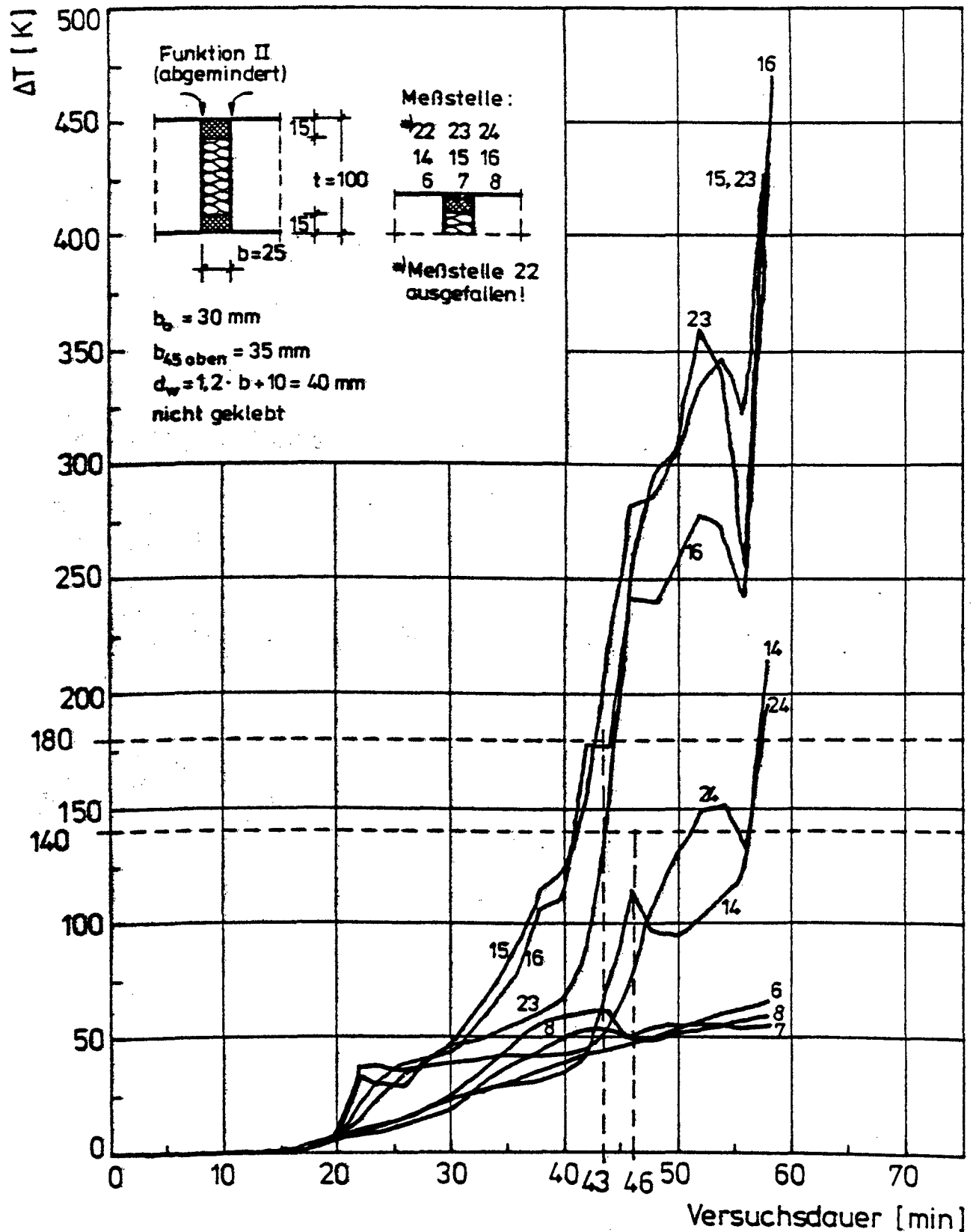
Dehn fugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
 Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
 4.8

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 9



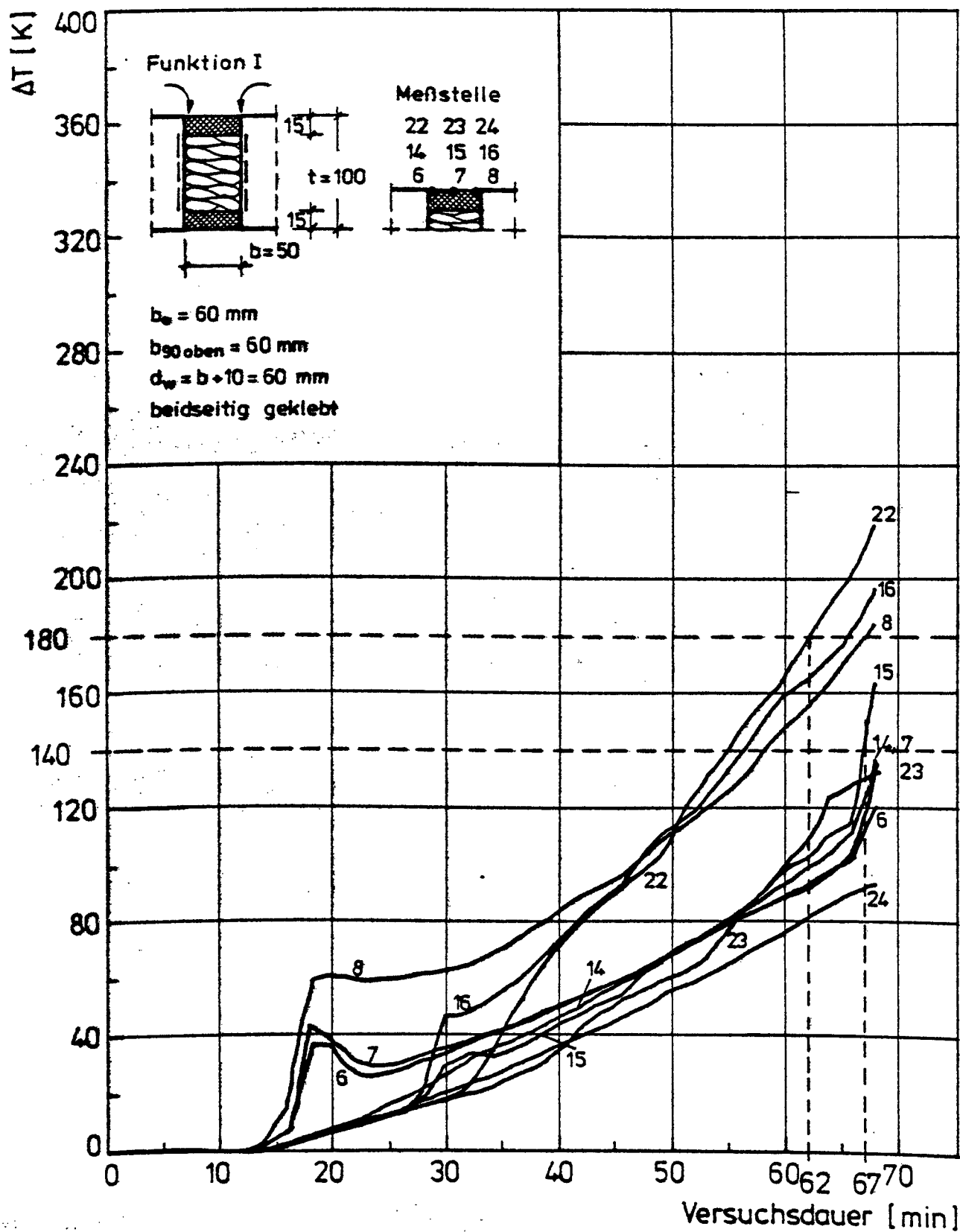
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.9

Versuch 10



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
 Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig

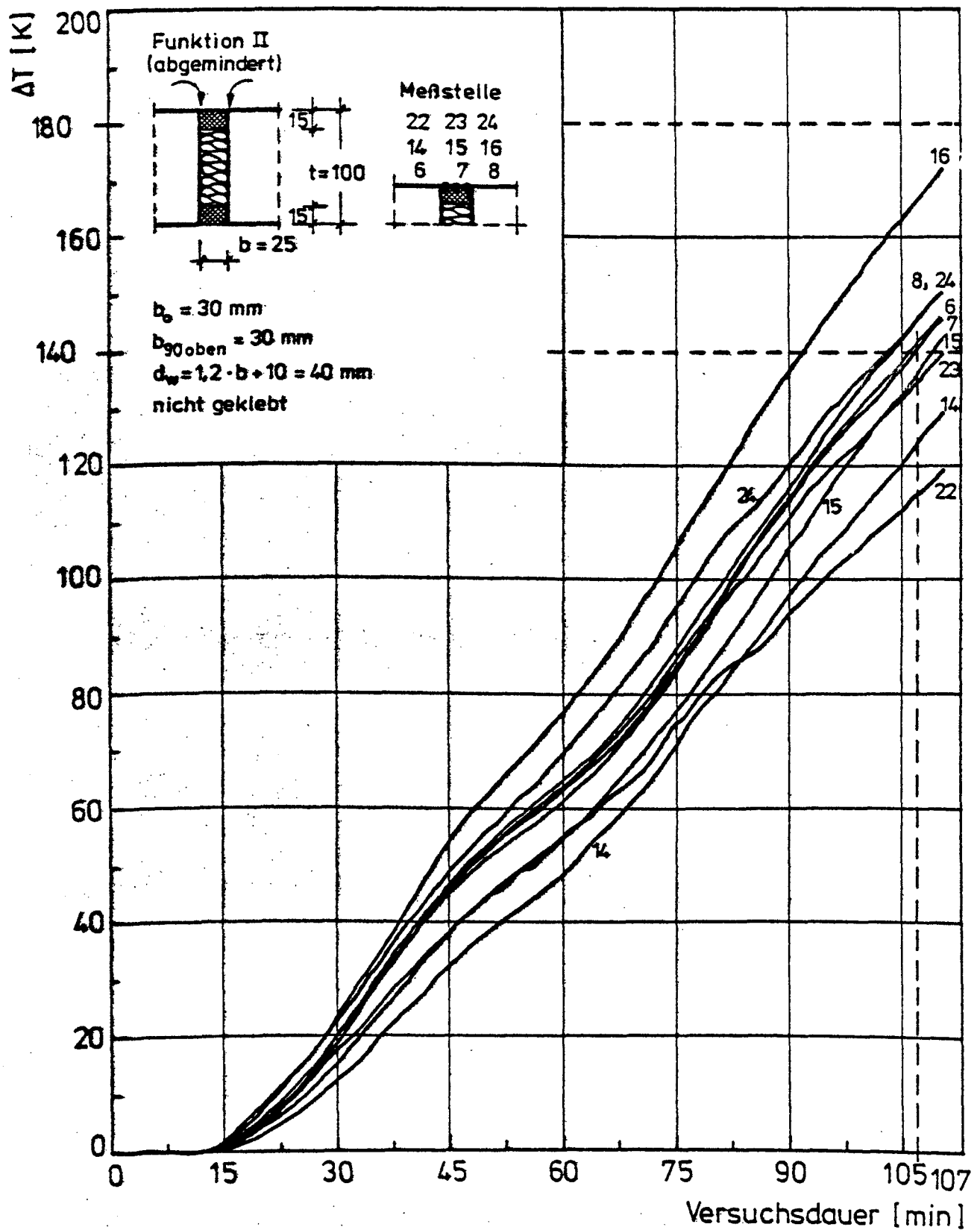
Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.10

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 11



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

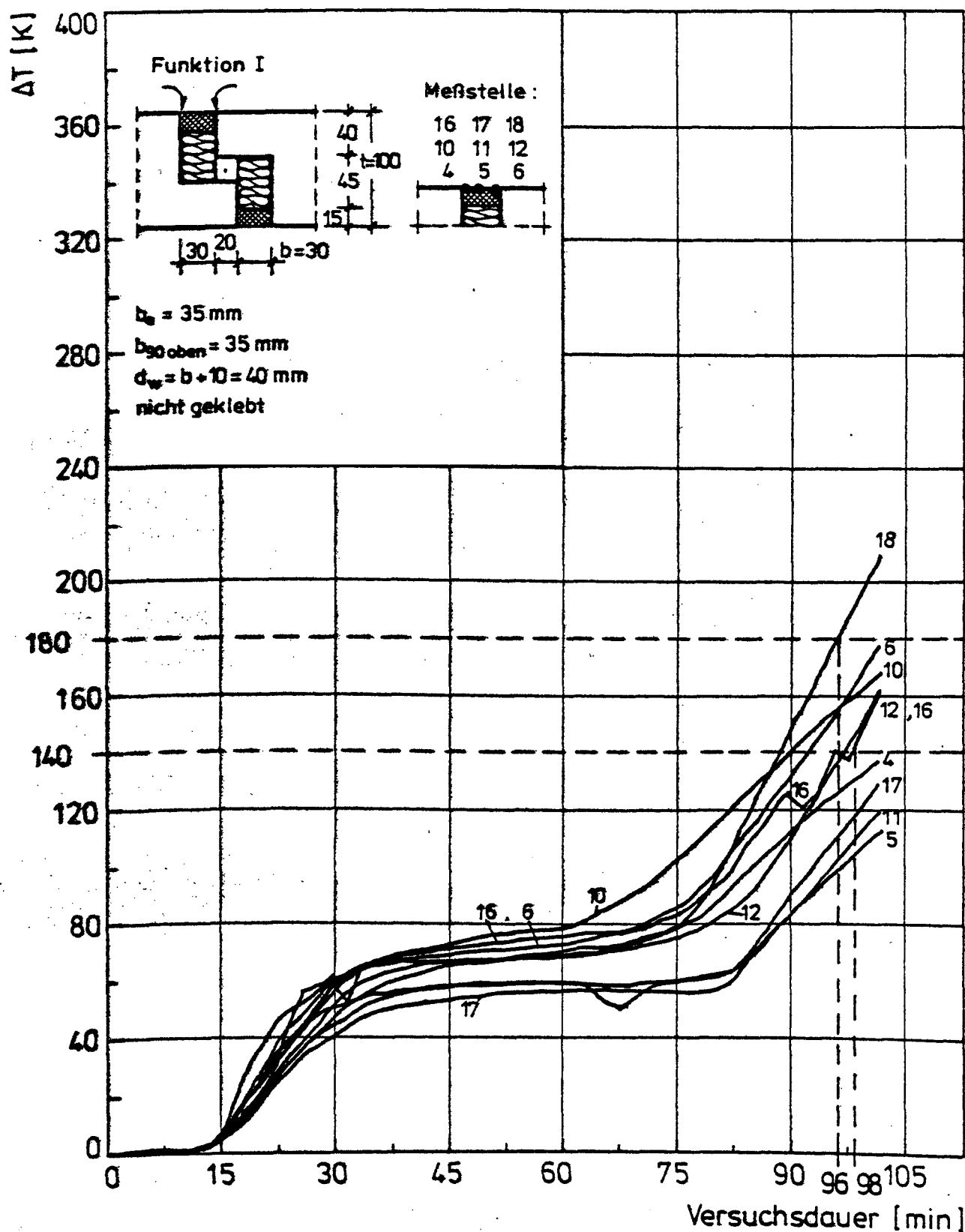
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.11

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 12

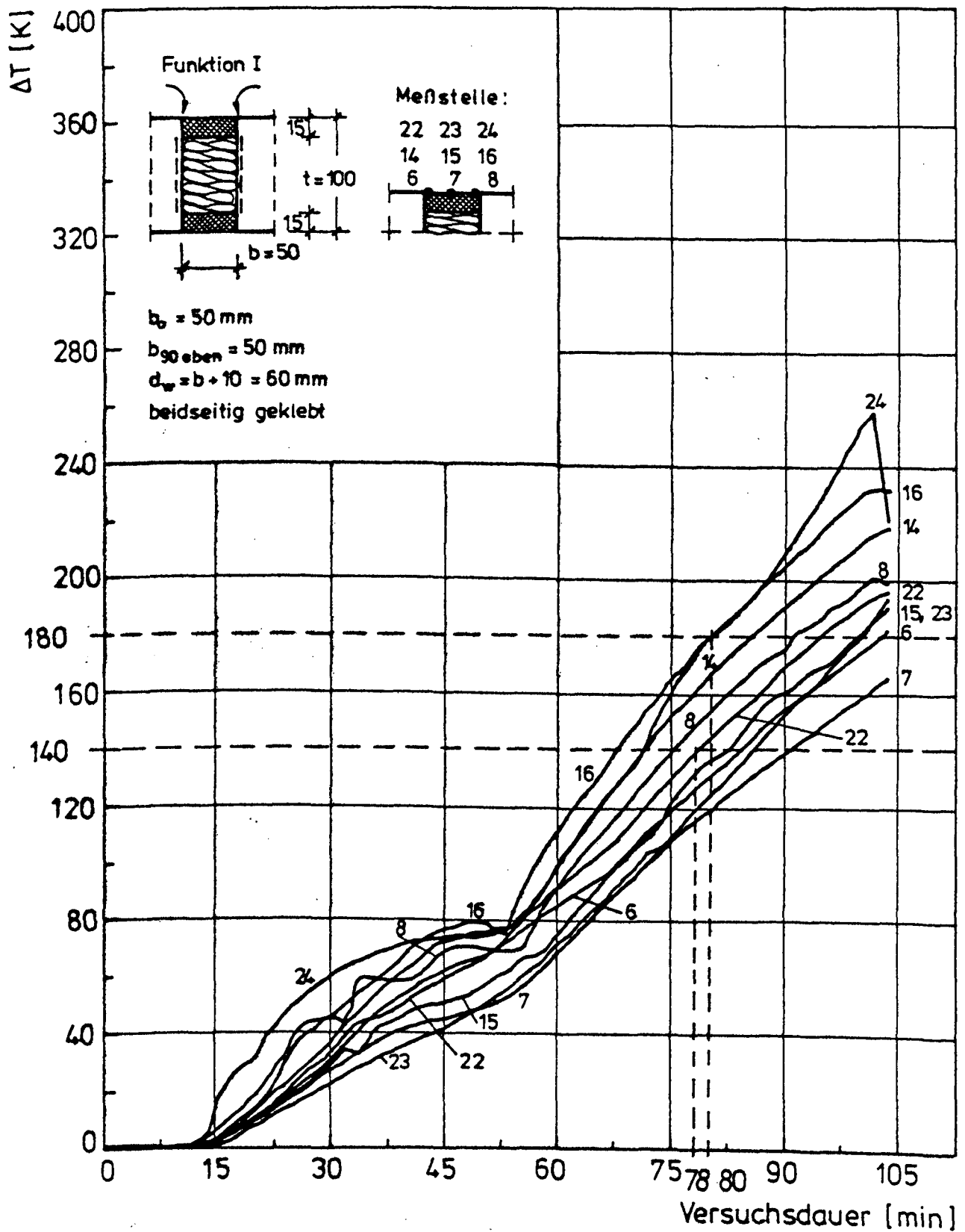


Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
 4.12

Versuch 13



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

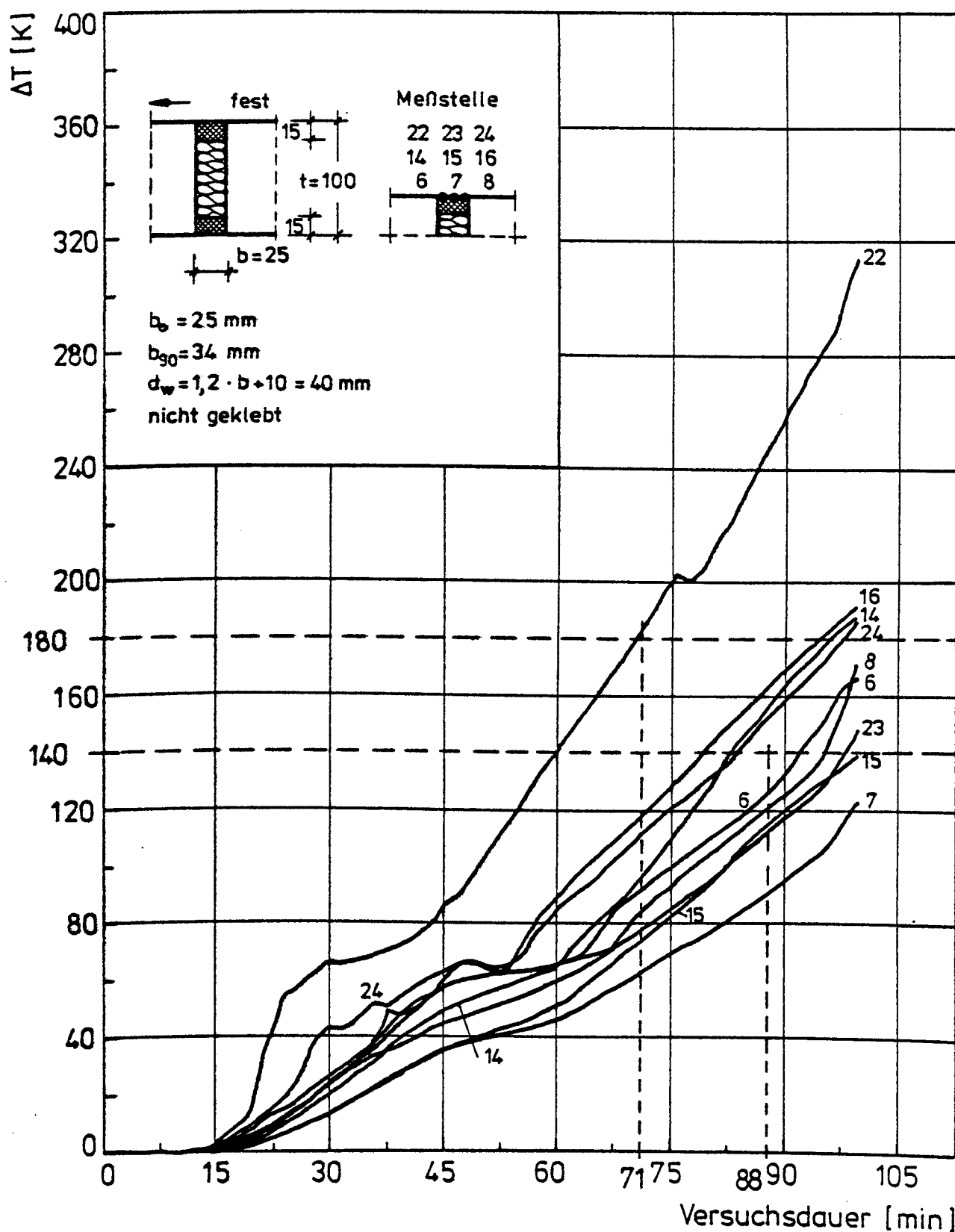
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.13

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 14



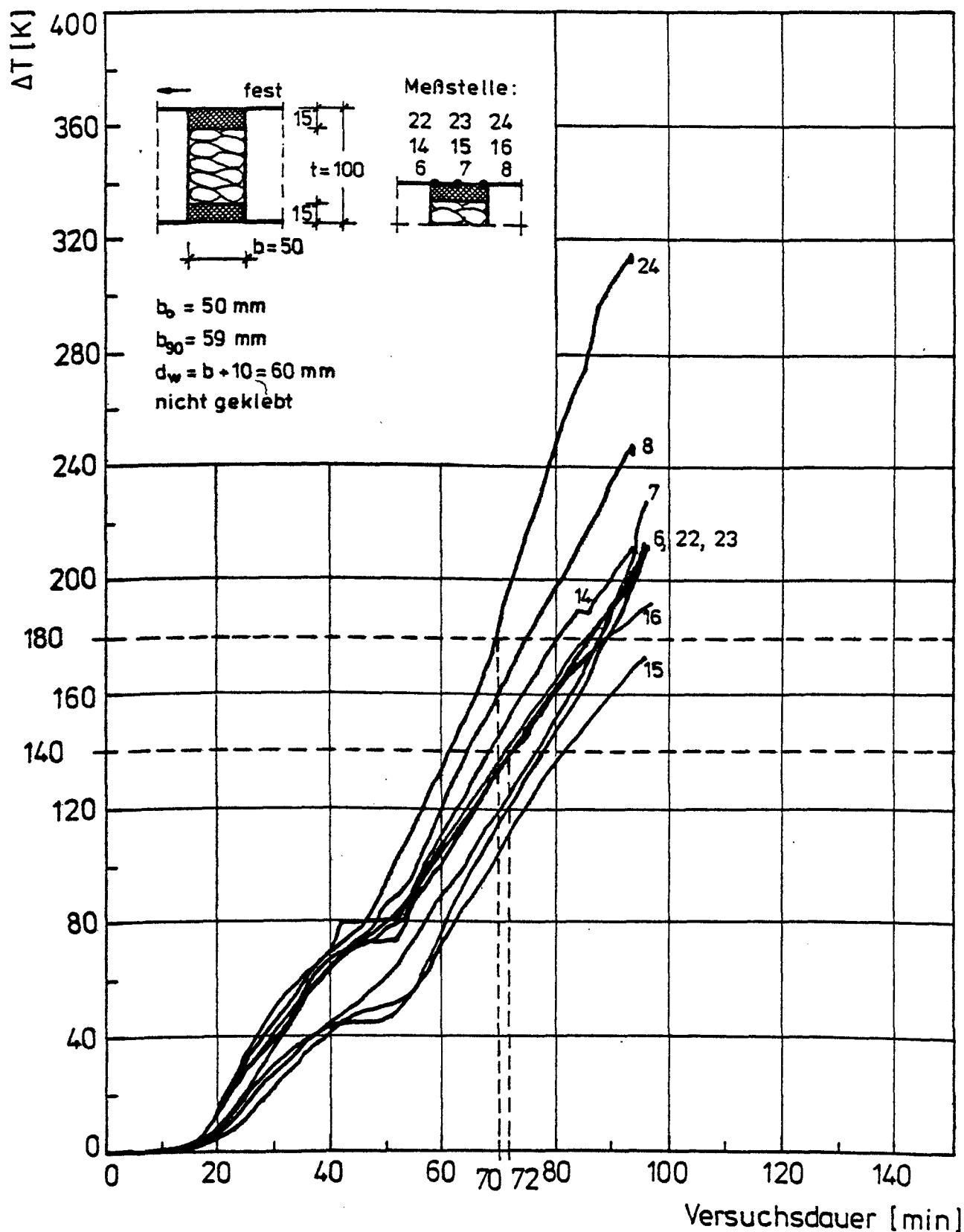
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
 Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
 4.14

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 15



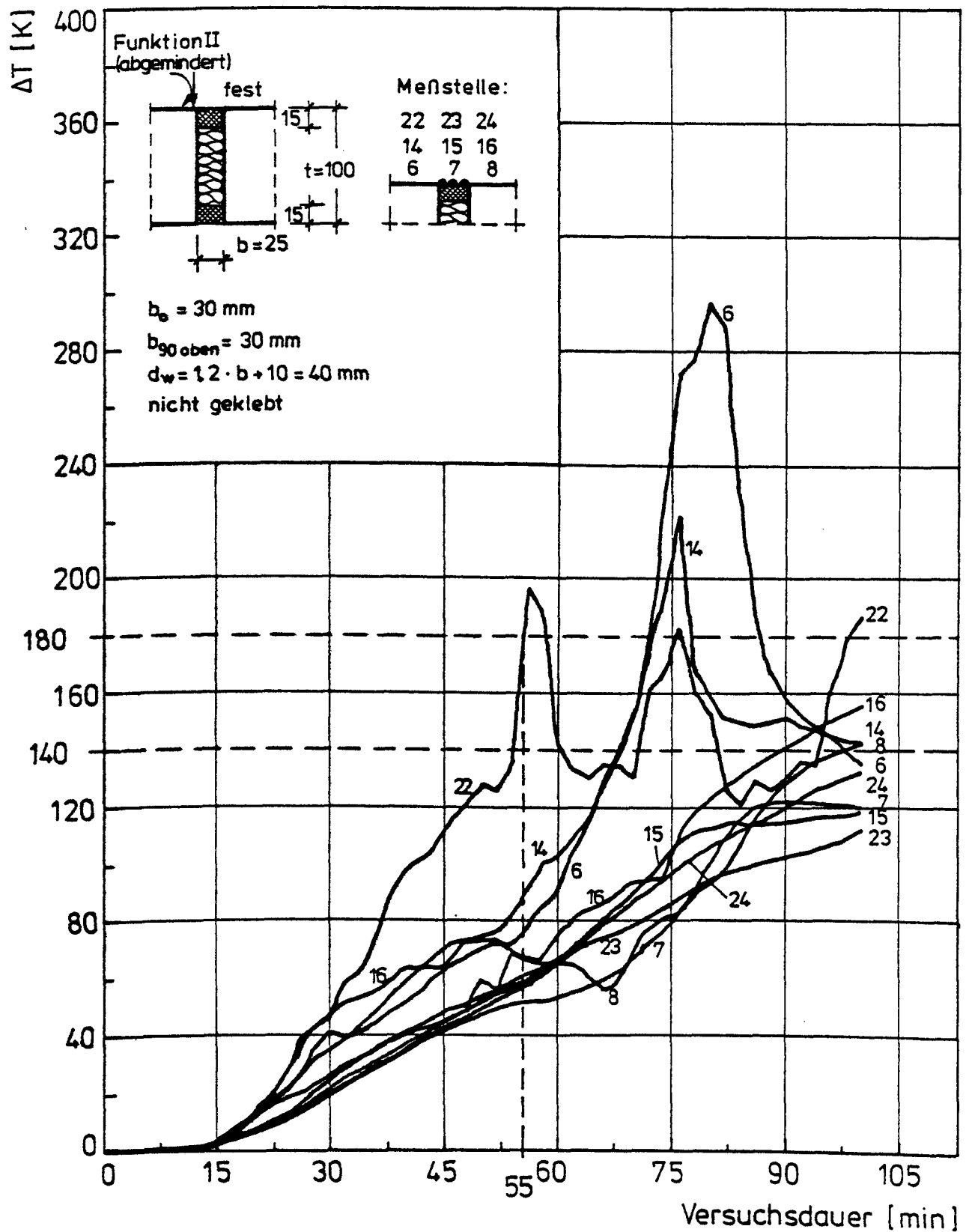
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.15

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 16



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

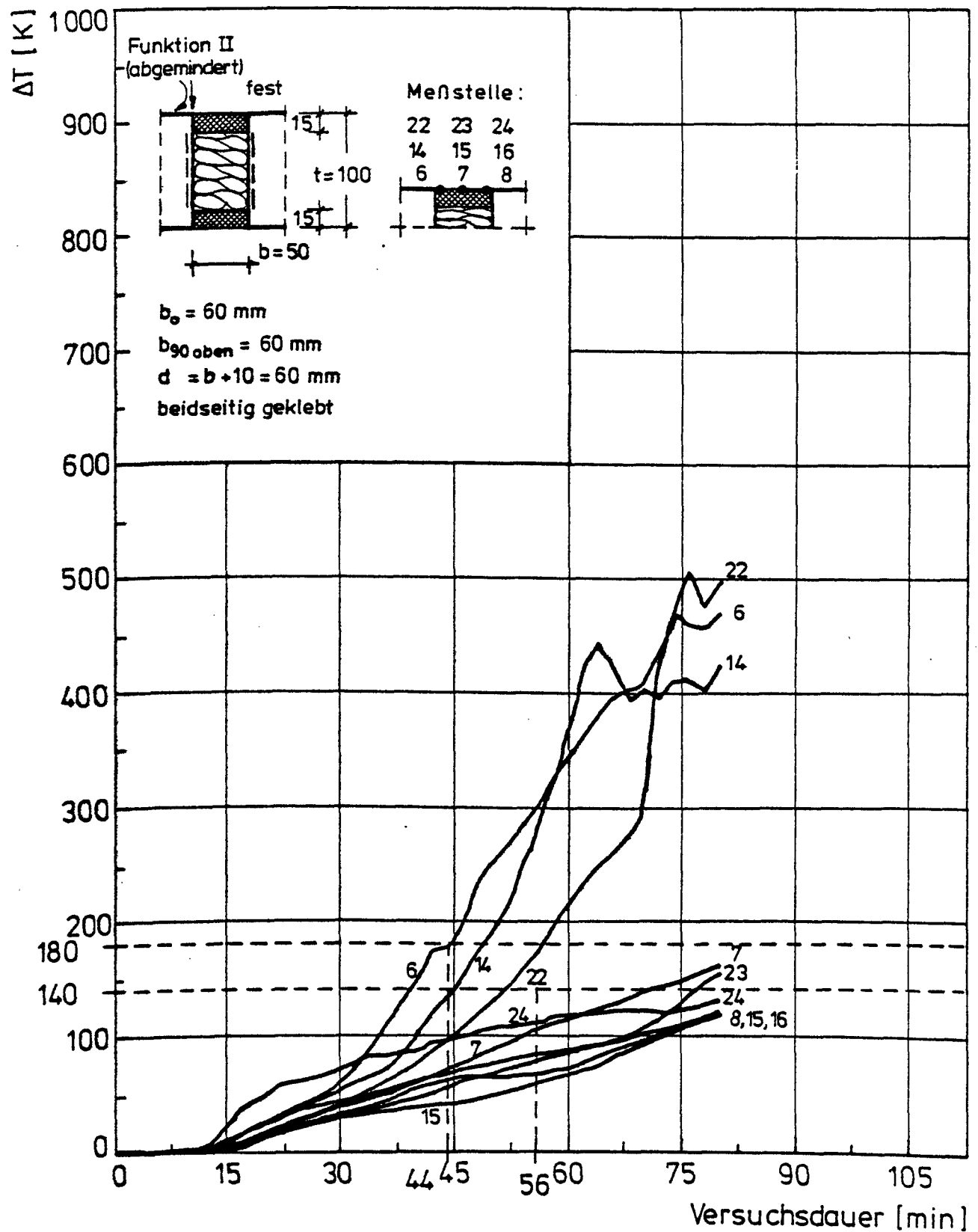
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.16

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 17



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

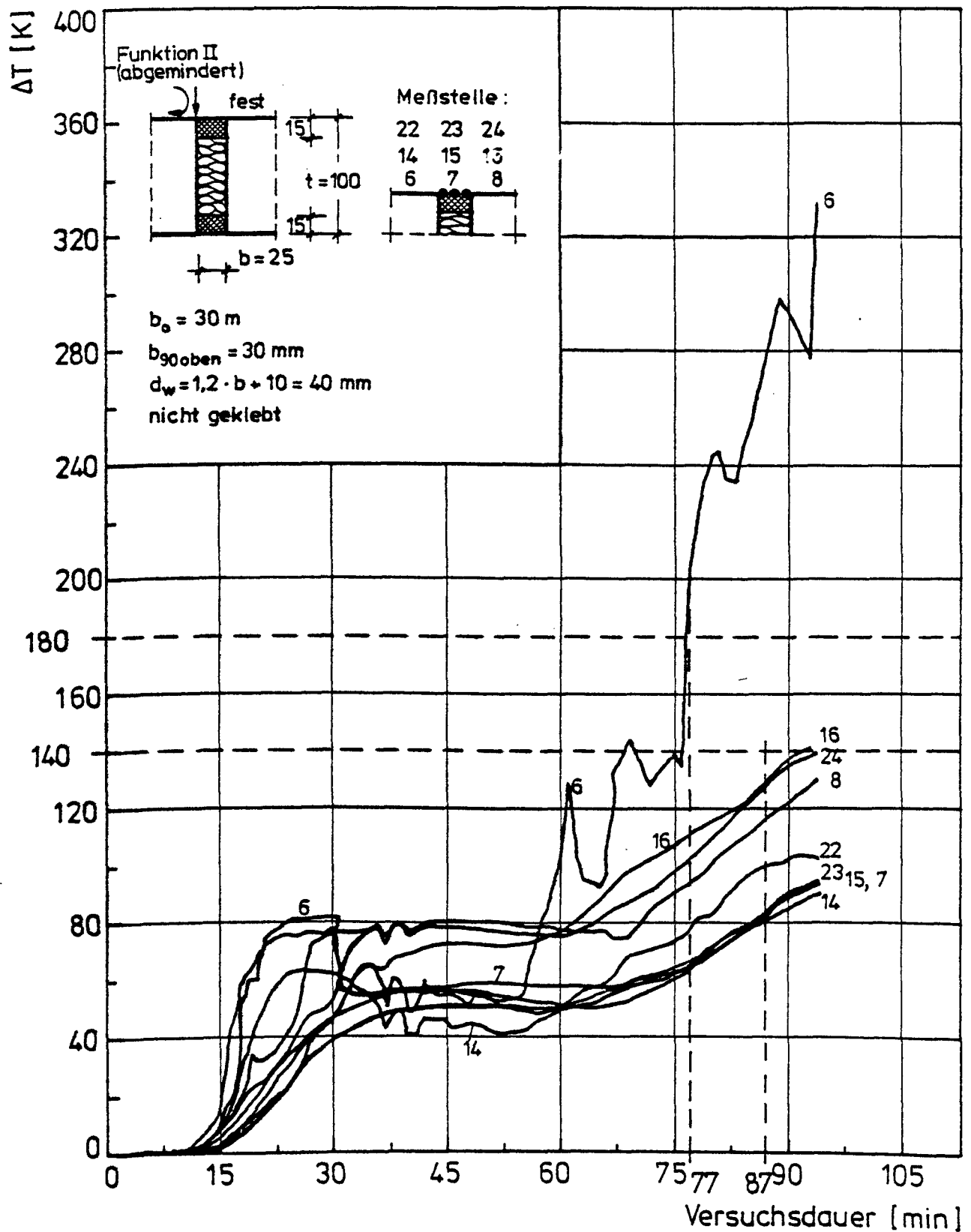
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.17

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 18



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

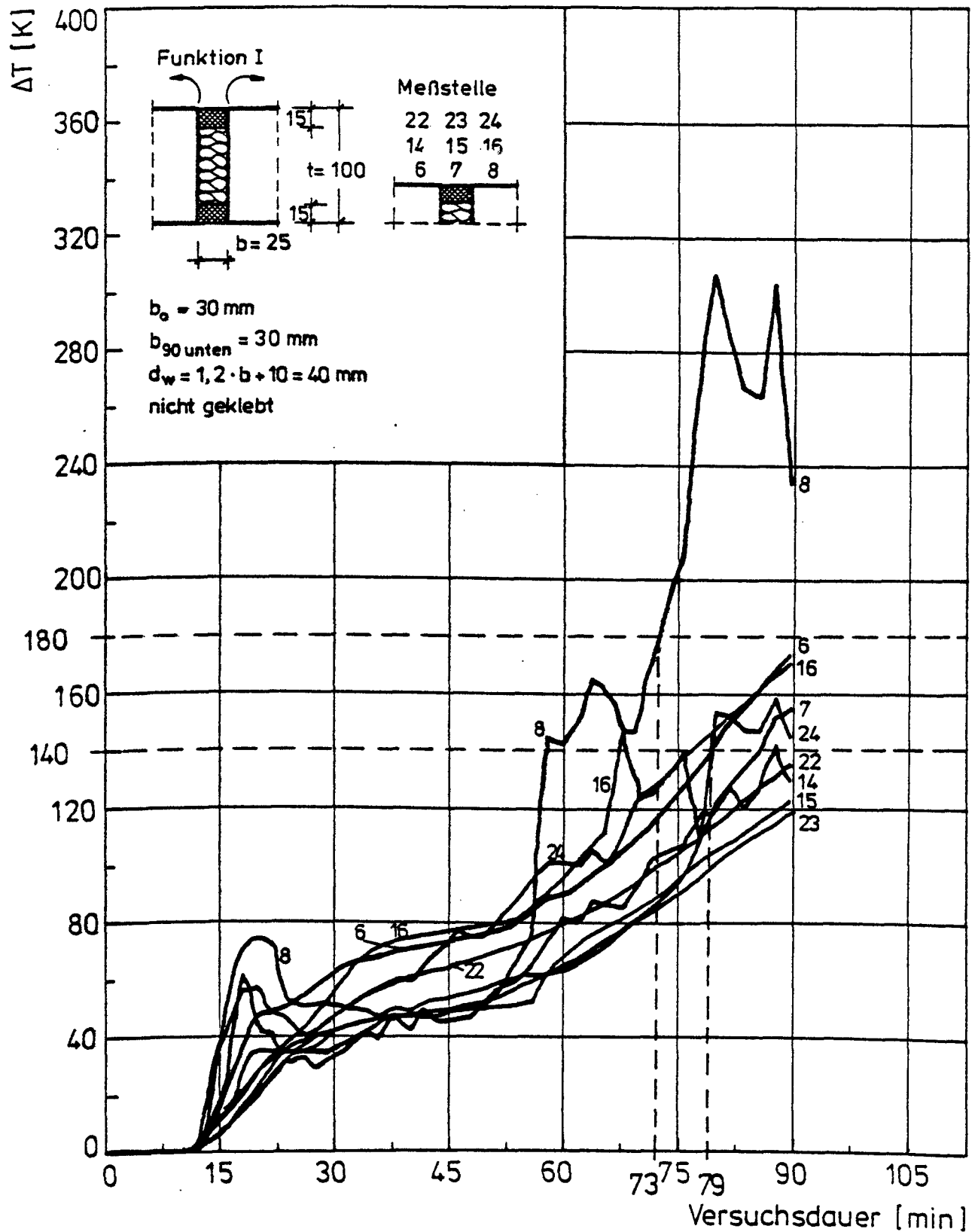
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.18

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 19



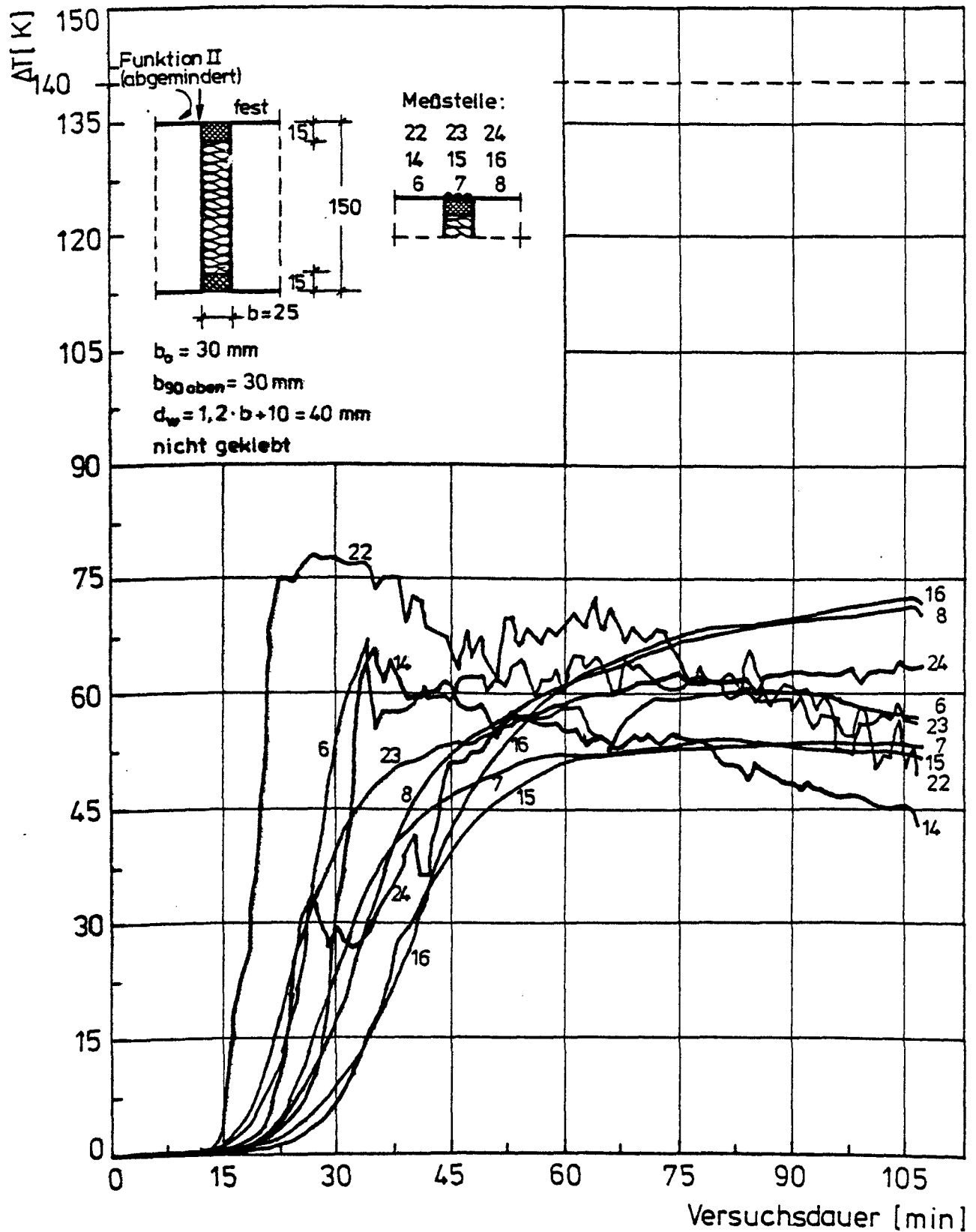
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.19

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 20



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

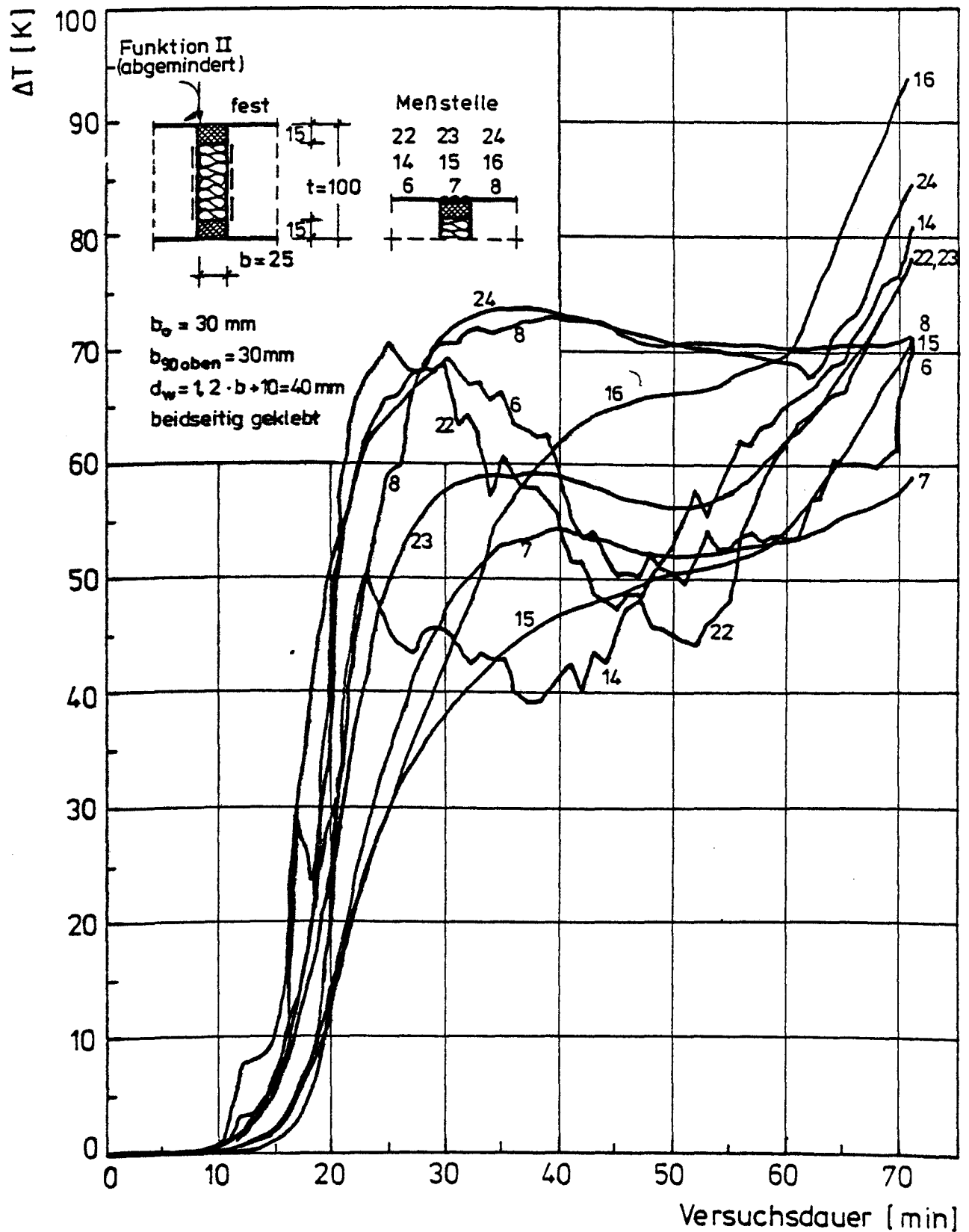
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.20

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 21



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

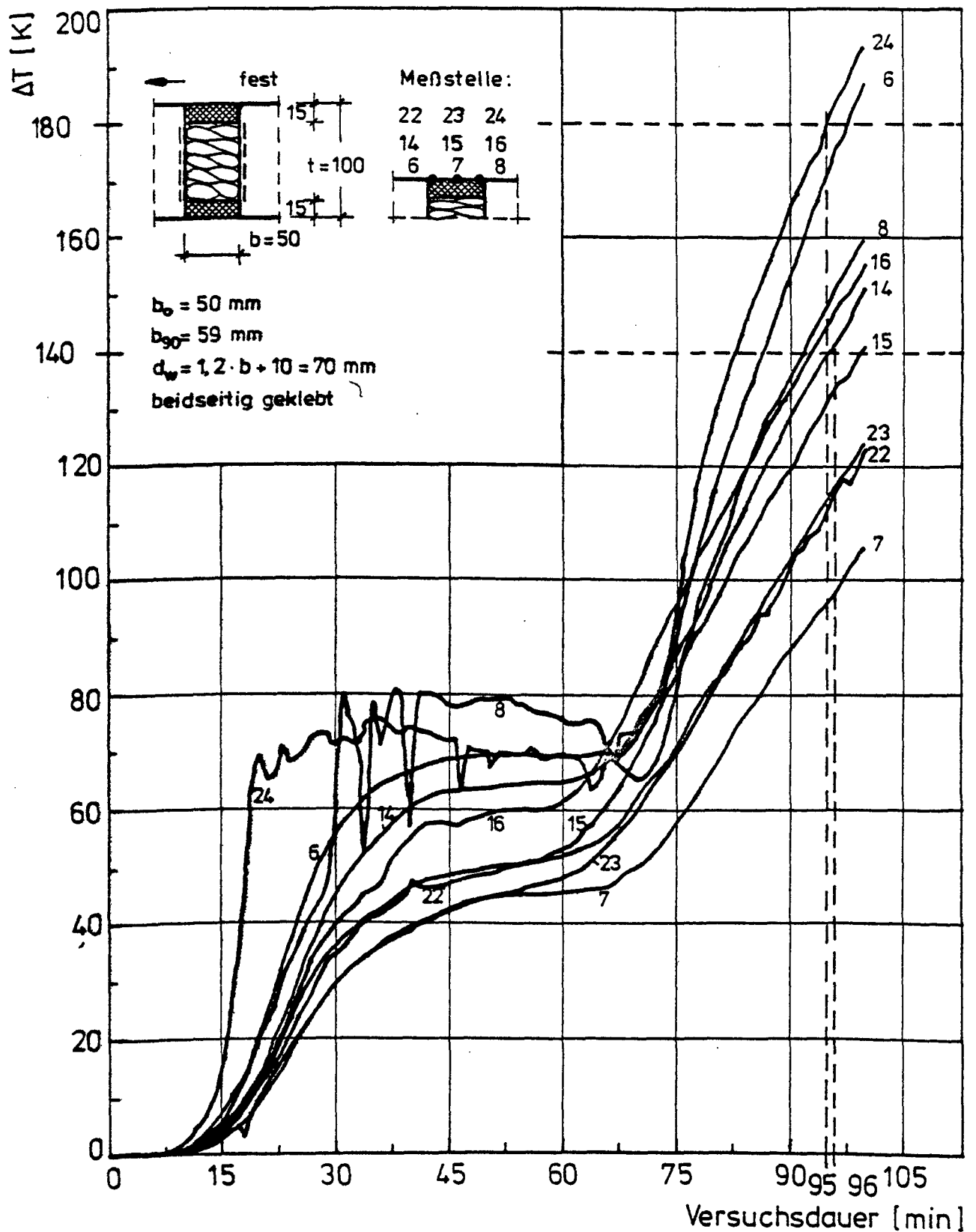
Technische Universität Braunschweig

Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.21

Versuch 22



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

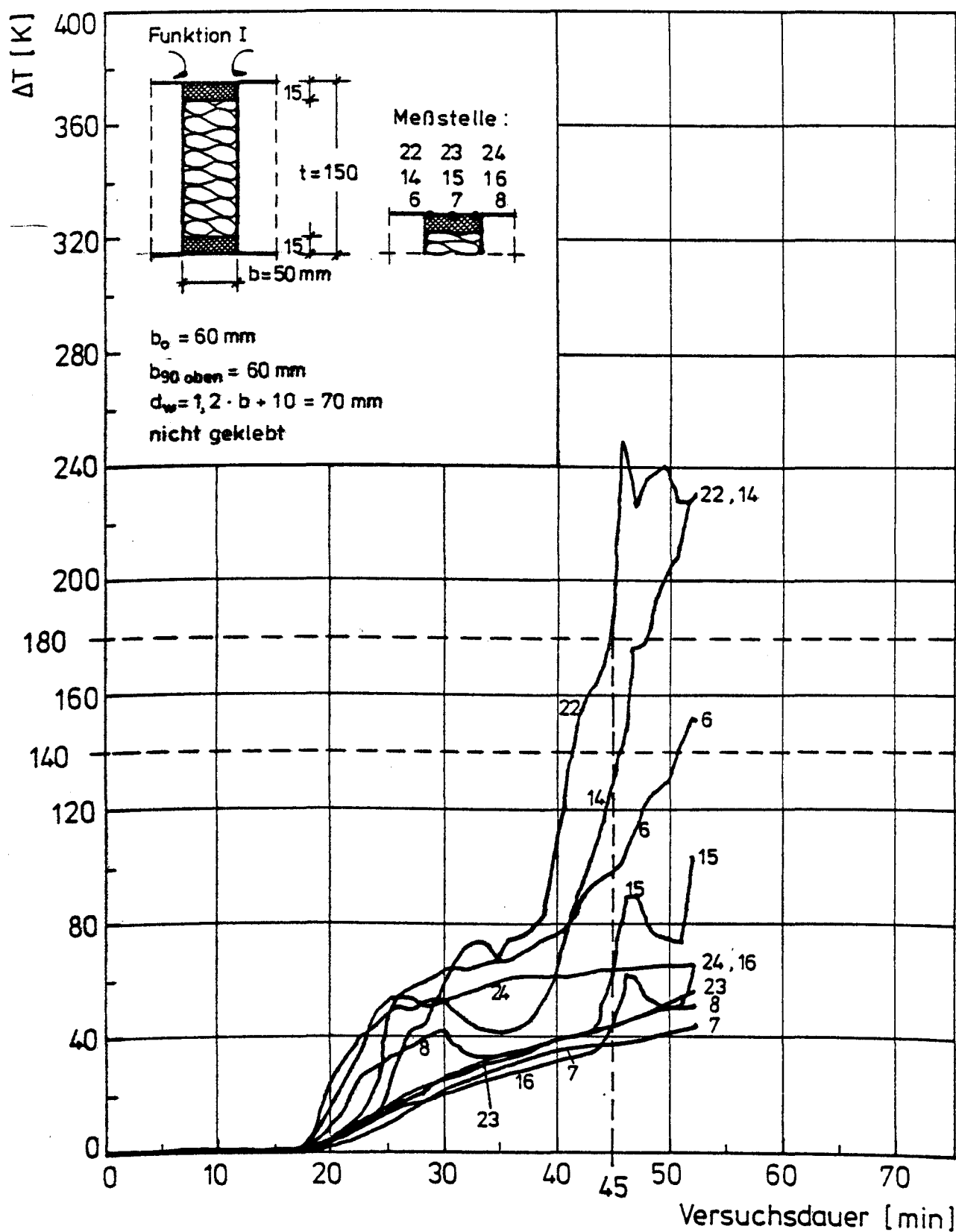
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.22

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 23



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

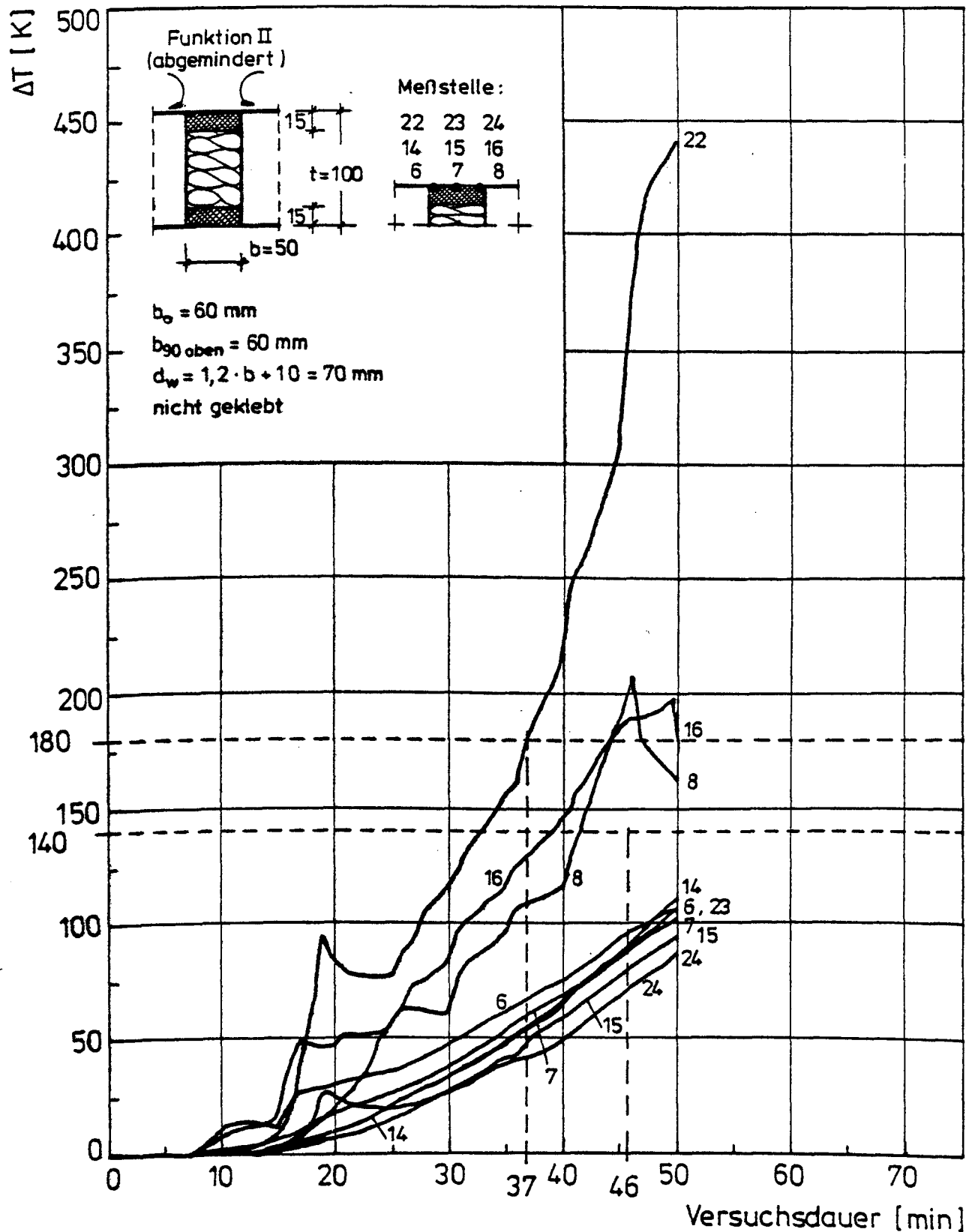
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.23

Versuch 24



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

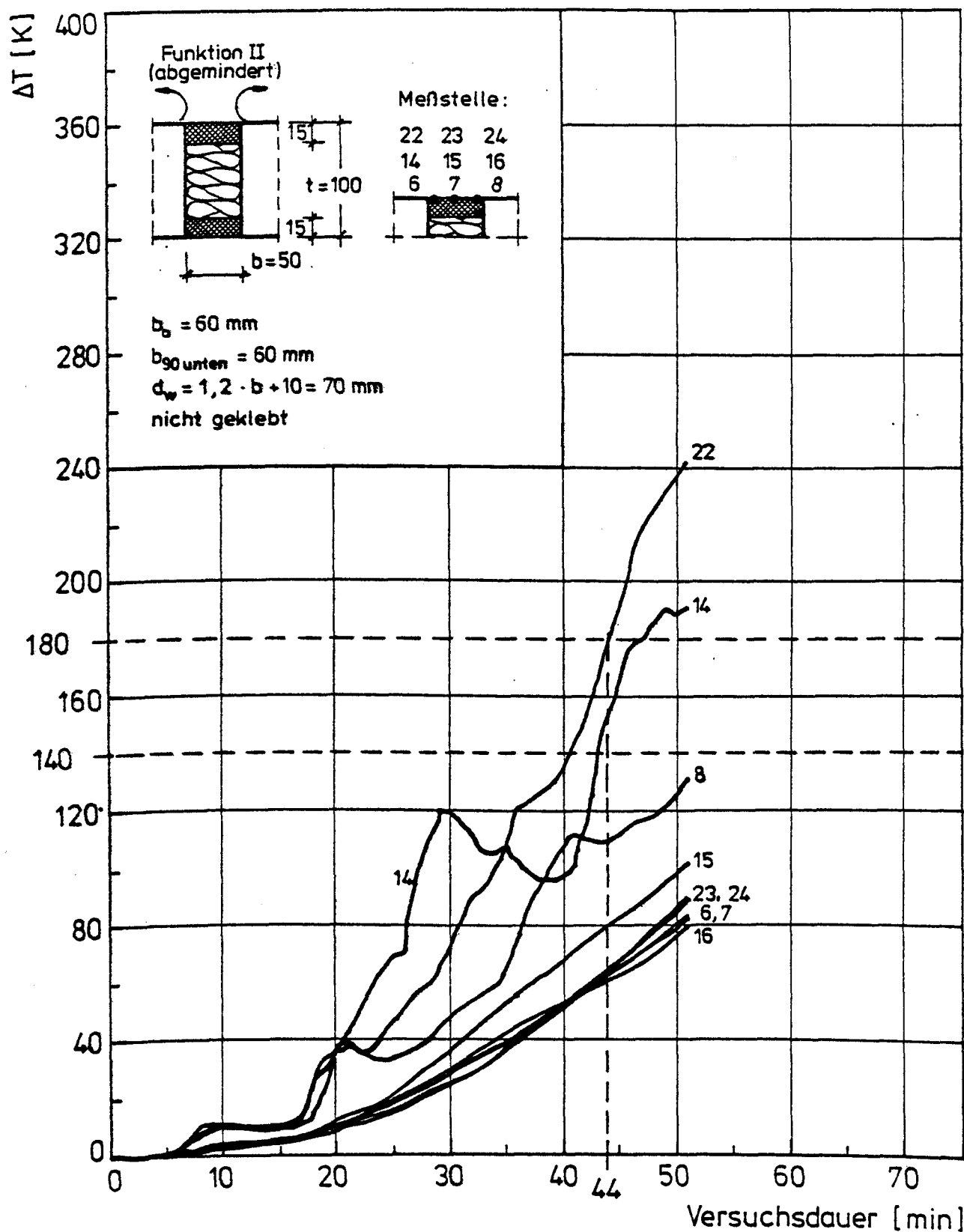
Ämtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.24

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 25



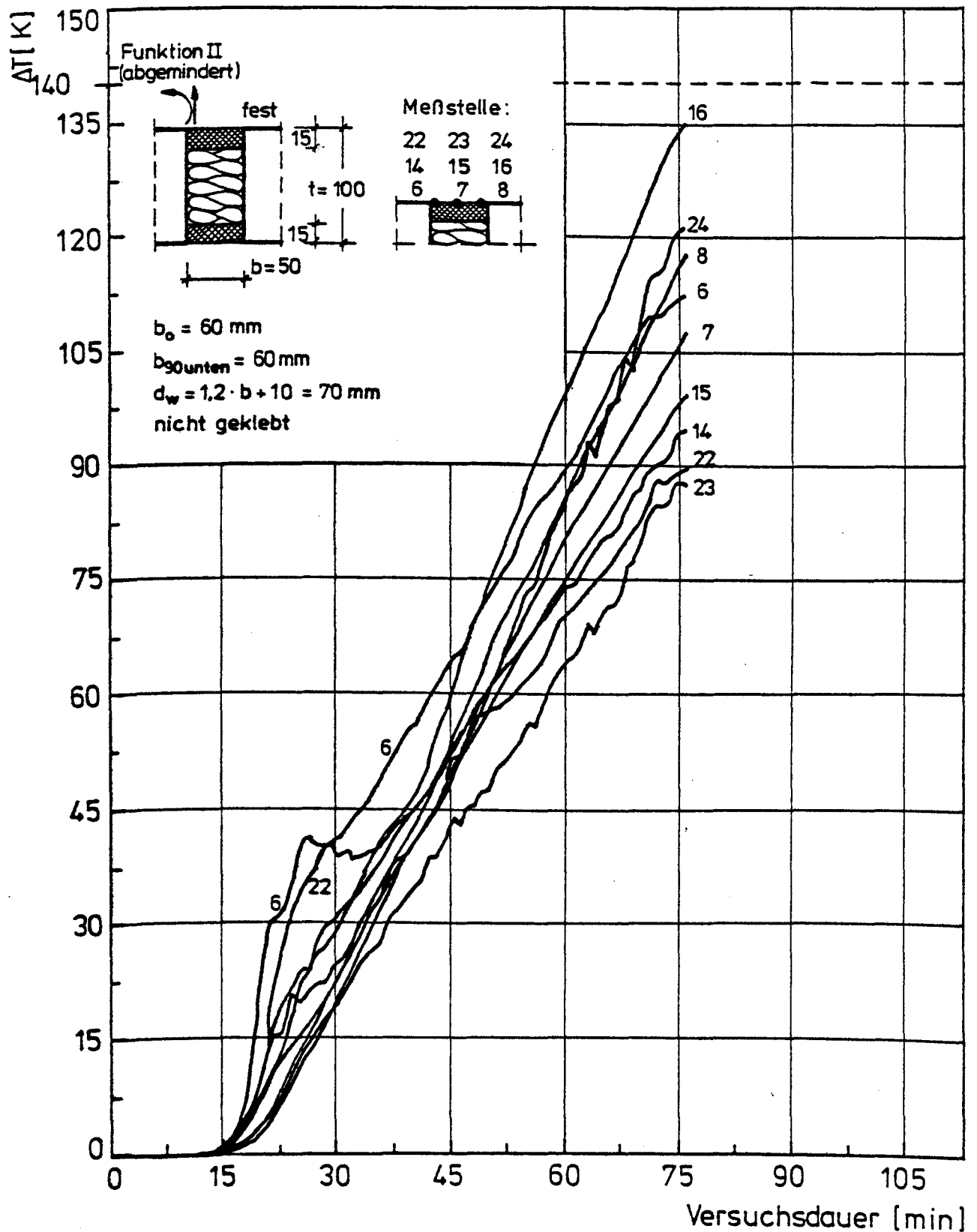
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.25

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 26



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig

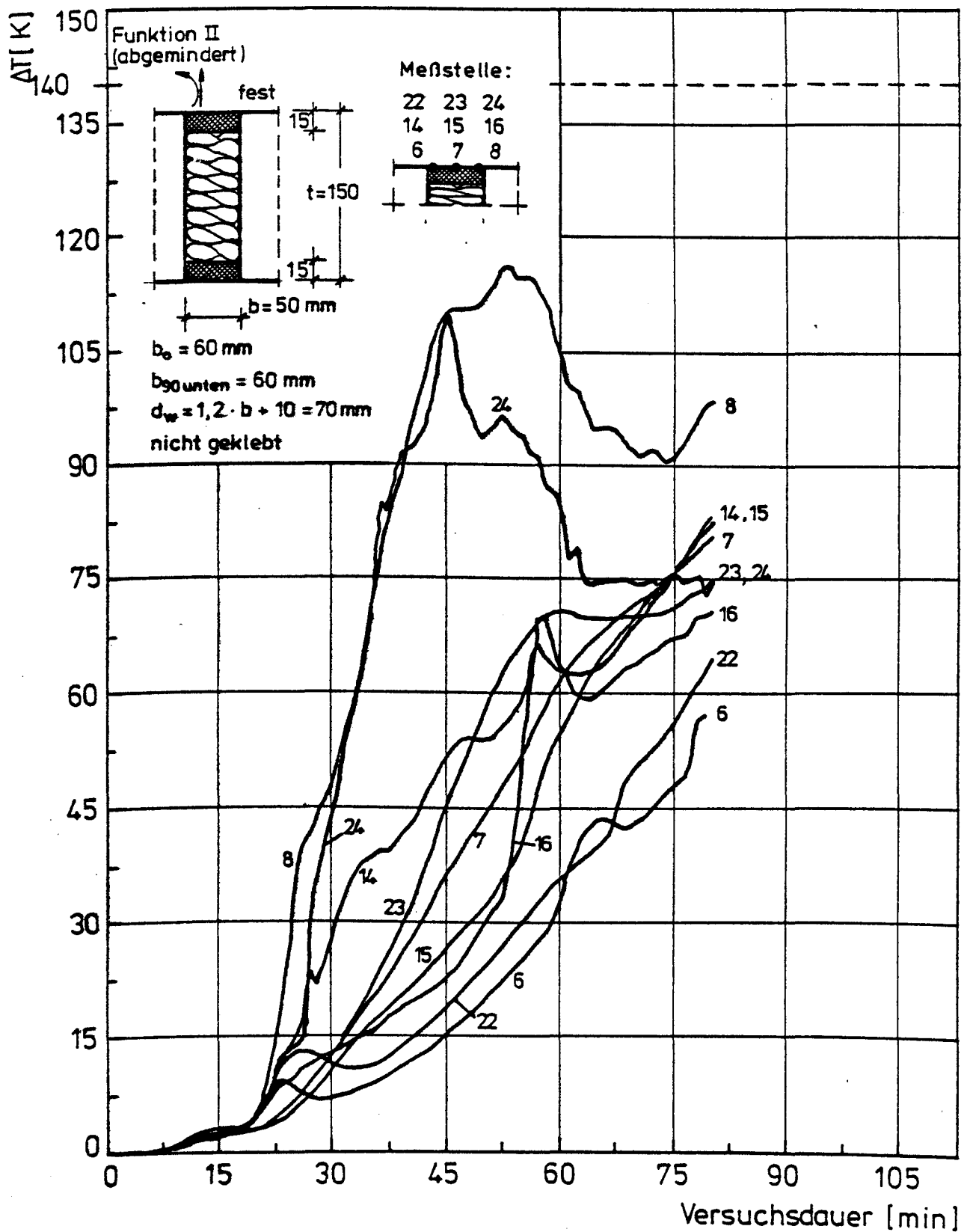
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.26

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 27



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

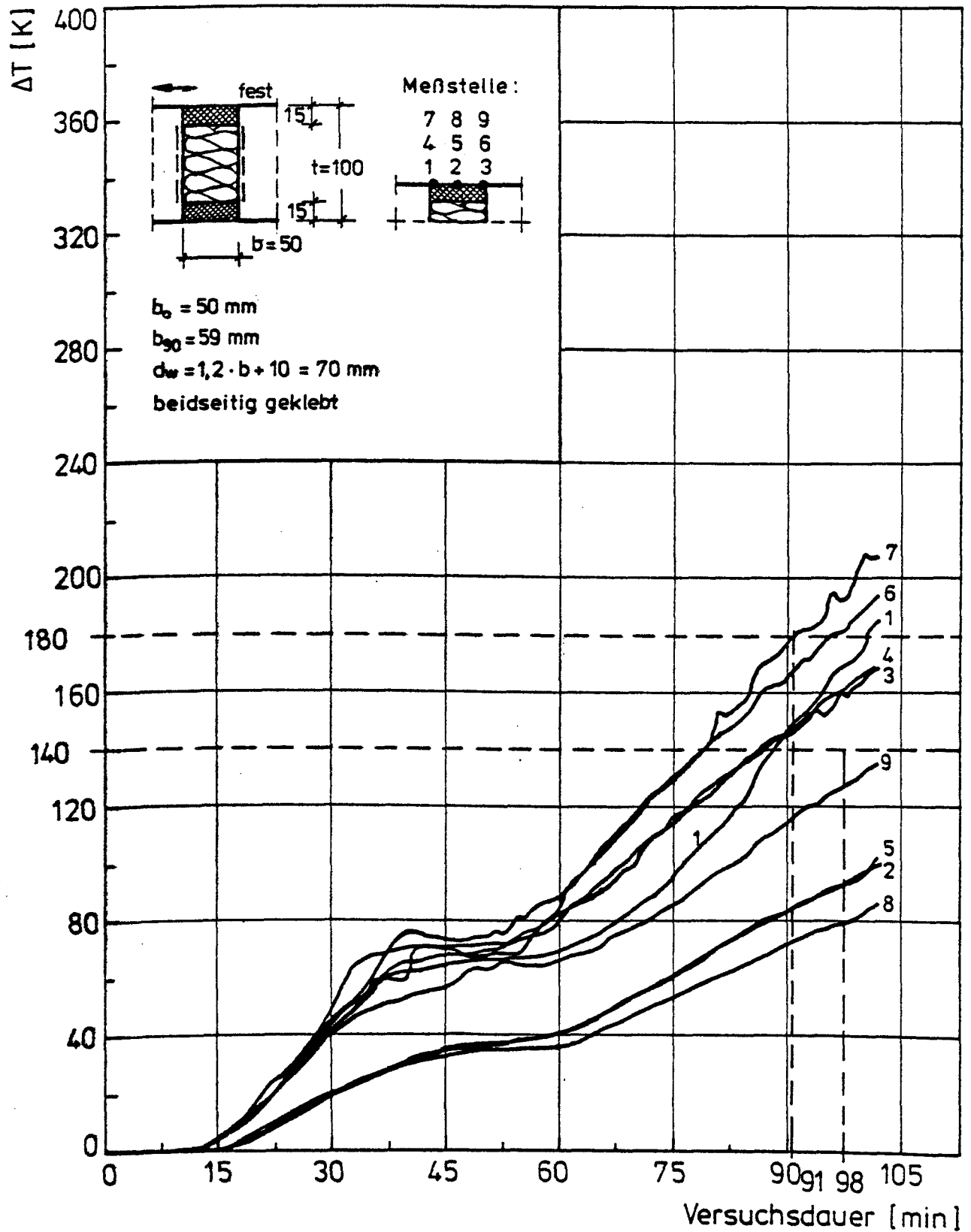
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.27

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 28



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
 Teil II

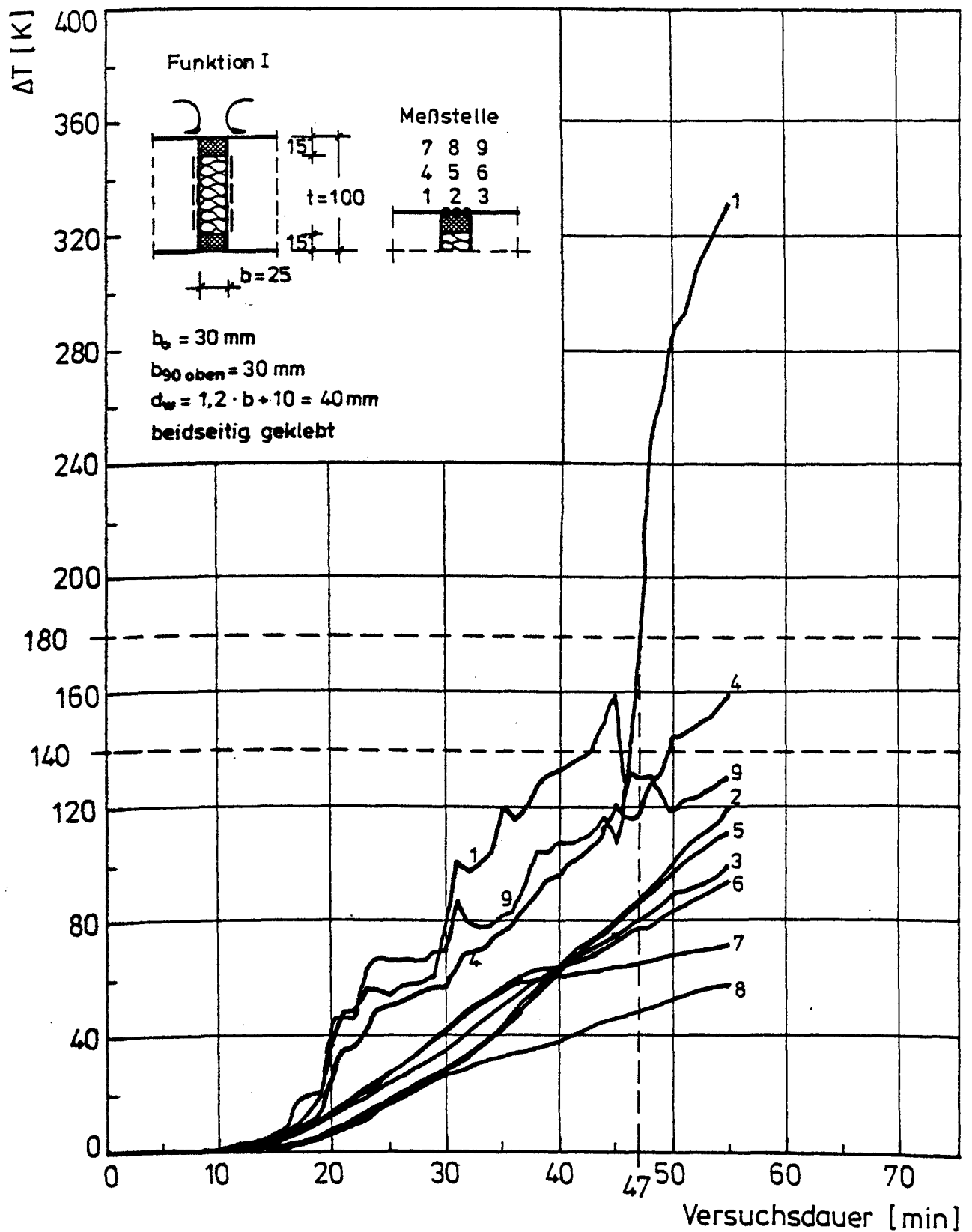
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.28

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 29



Dehnungen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

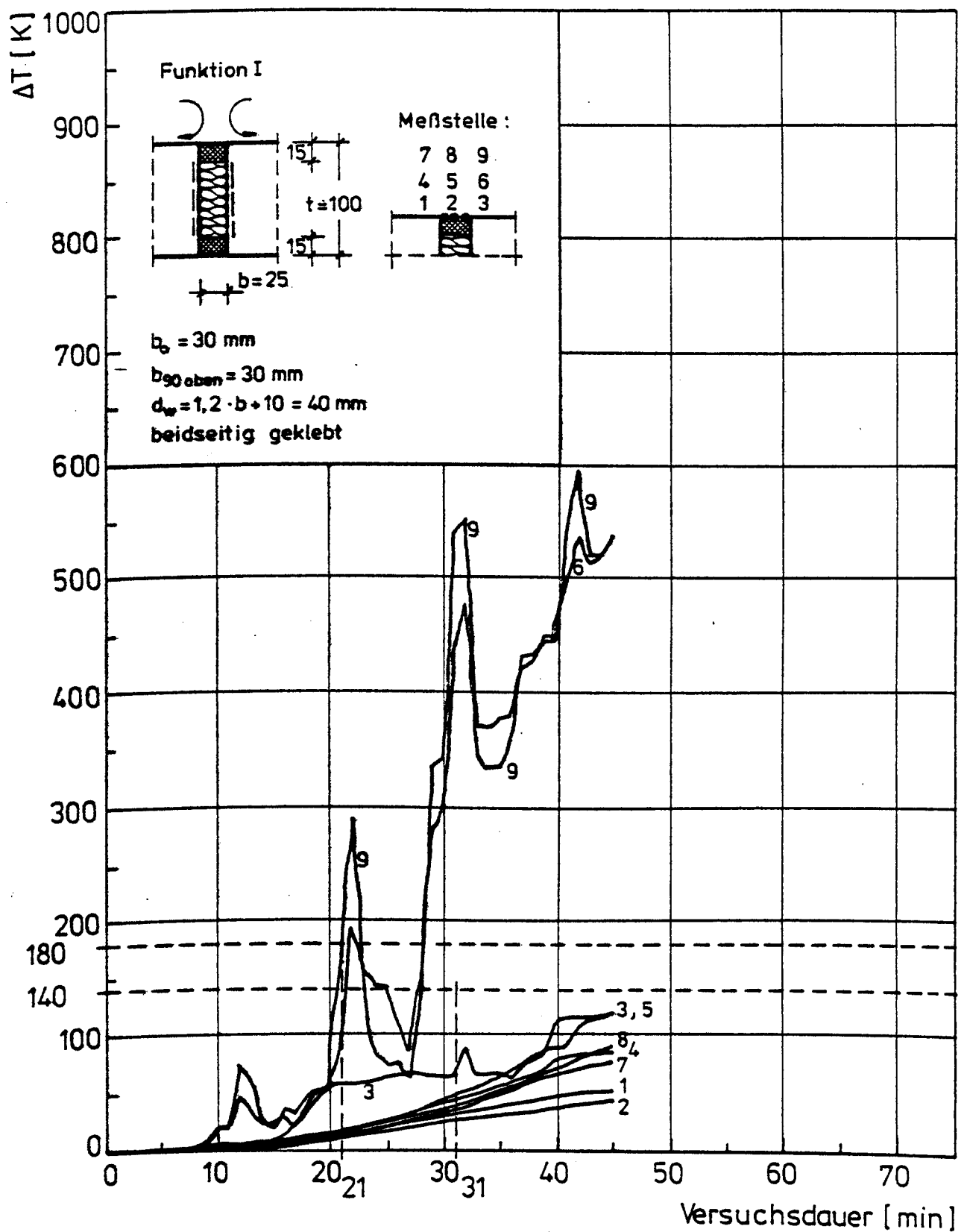
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.29

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 30



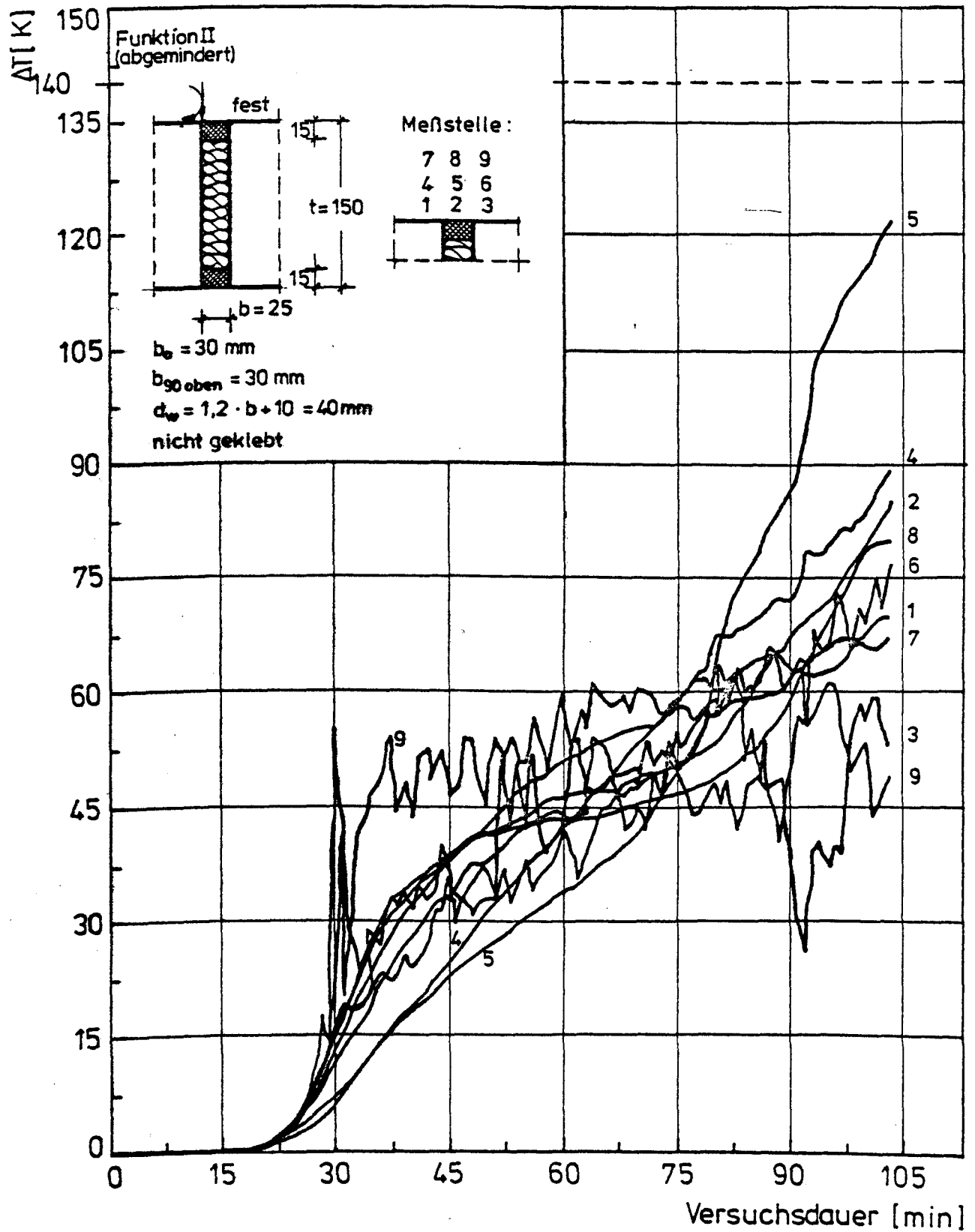
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.30

Versuch 31



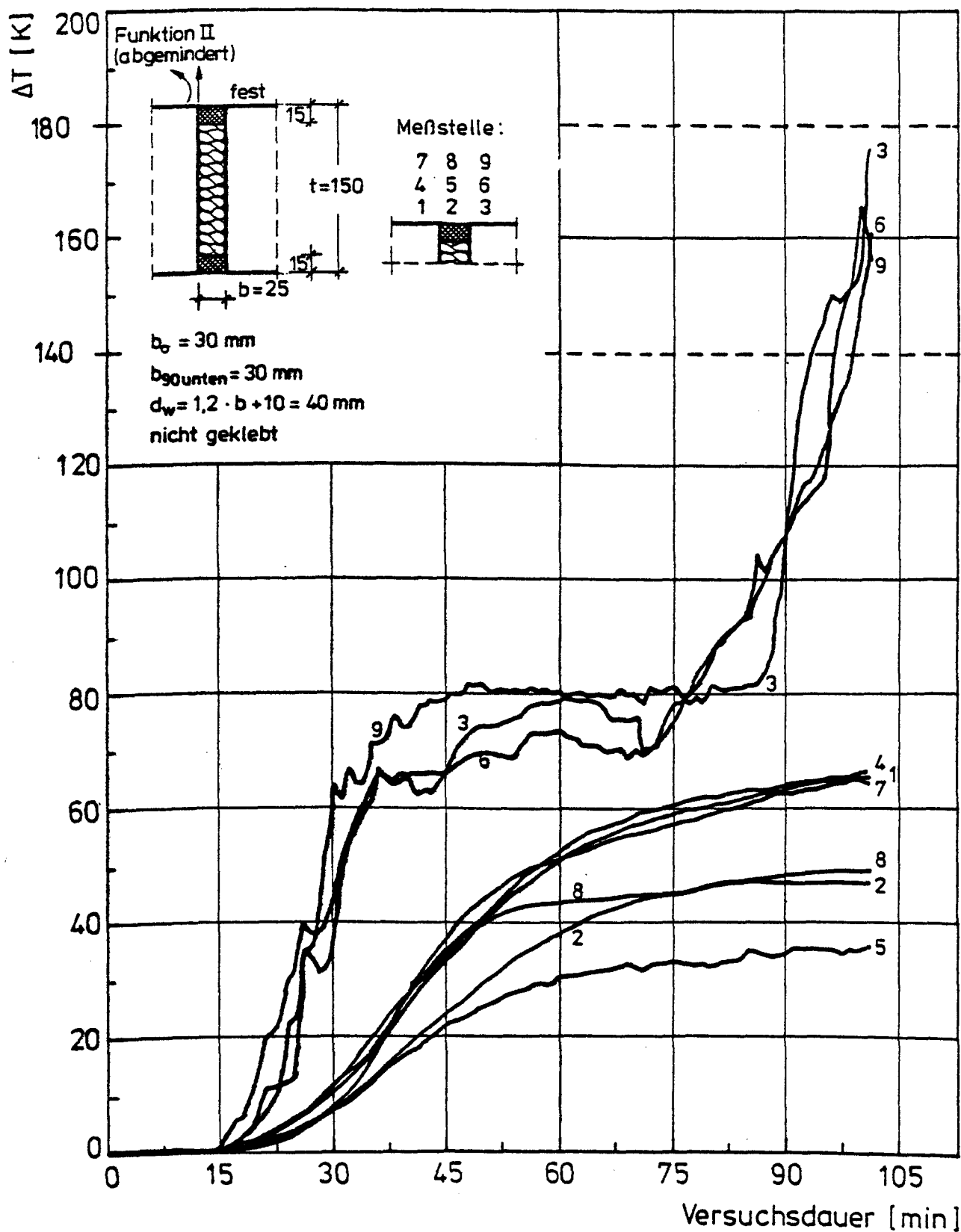
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.31

Versuch 32



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

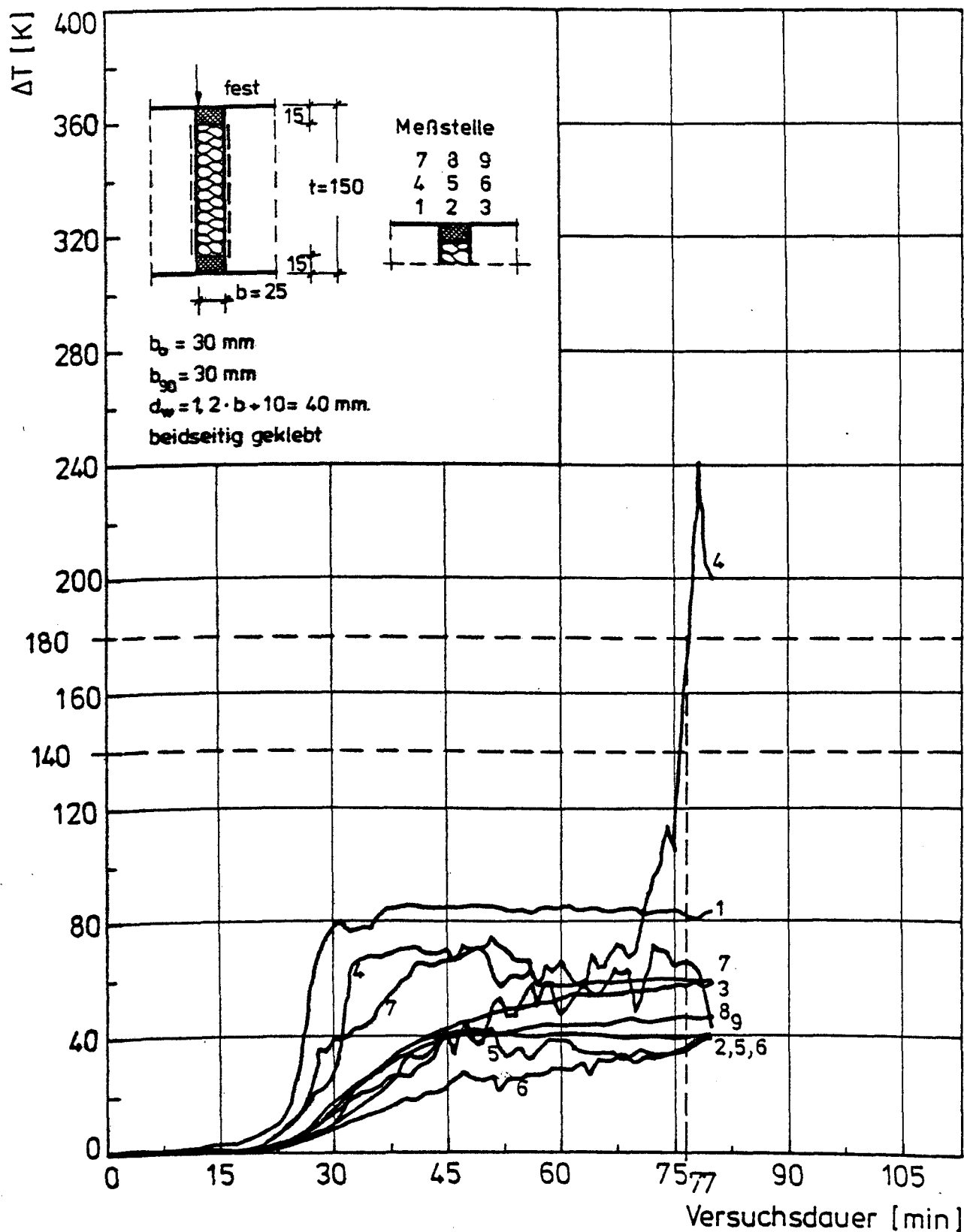
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.32

Temperaturmessung an der Oberfläche

Versuch 33



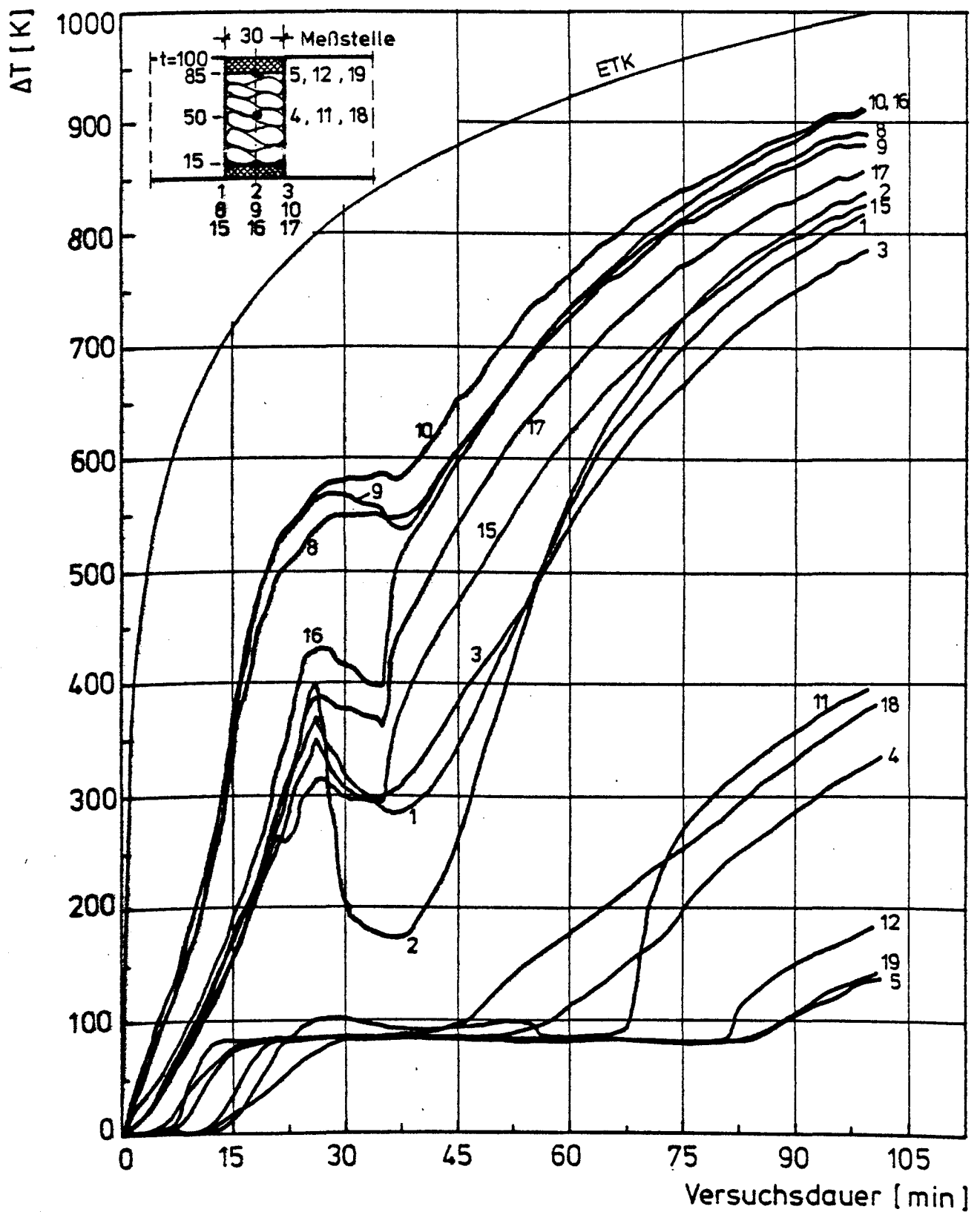
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.33

Temperamentwicklung in der Fuge Versuch 1



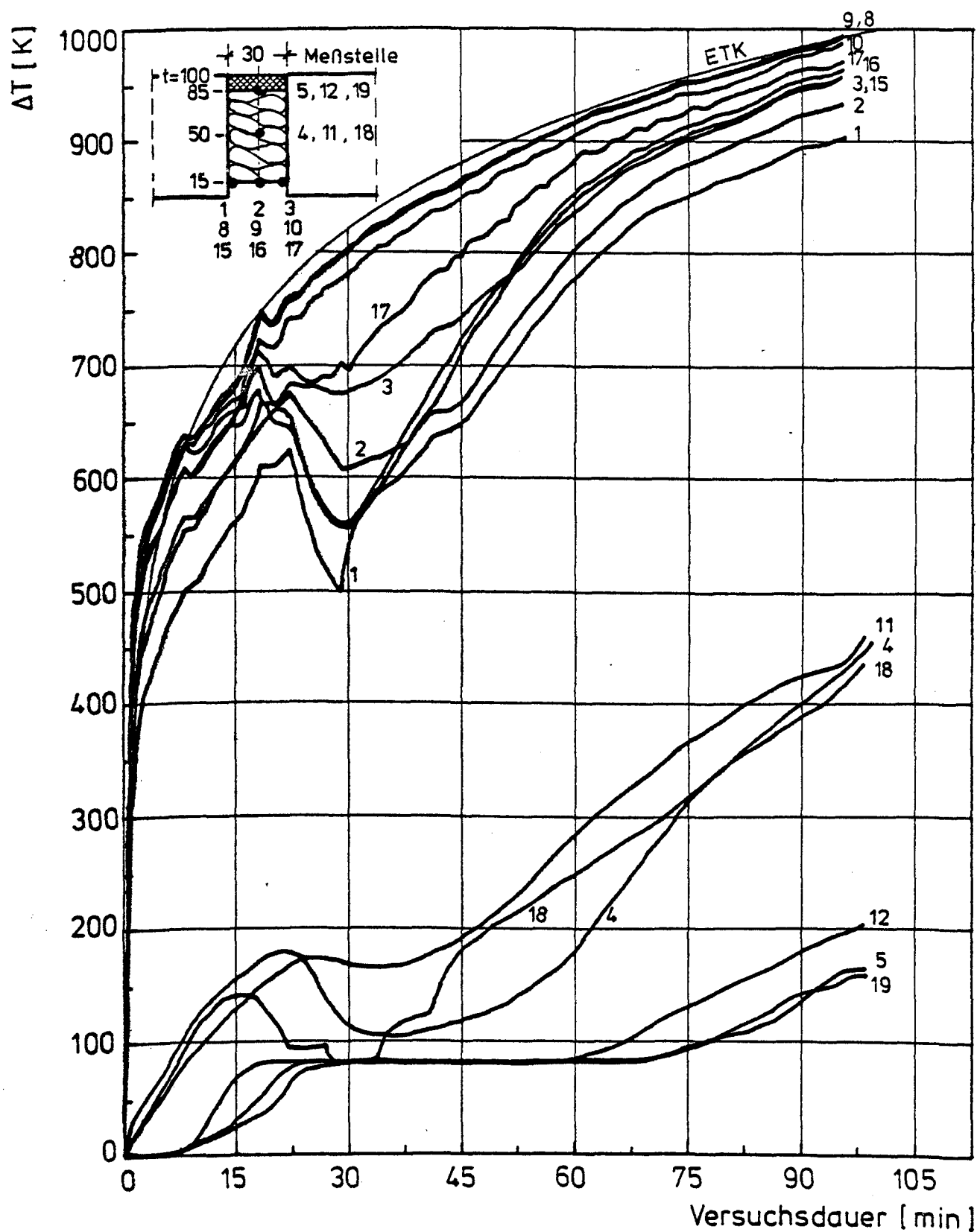
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.41

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 2



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

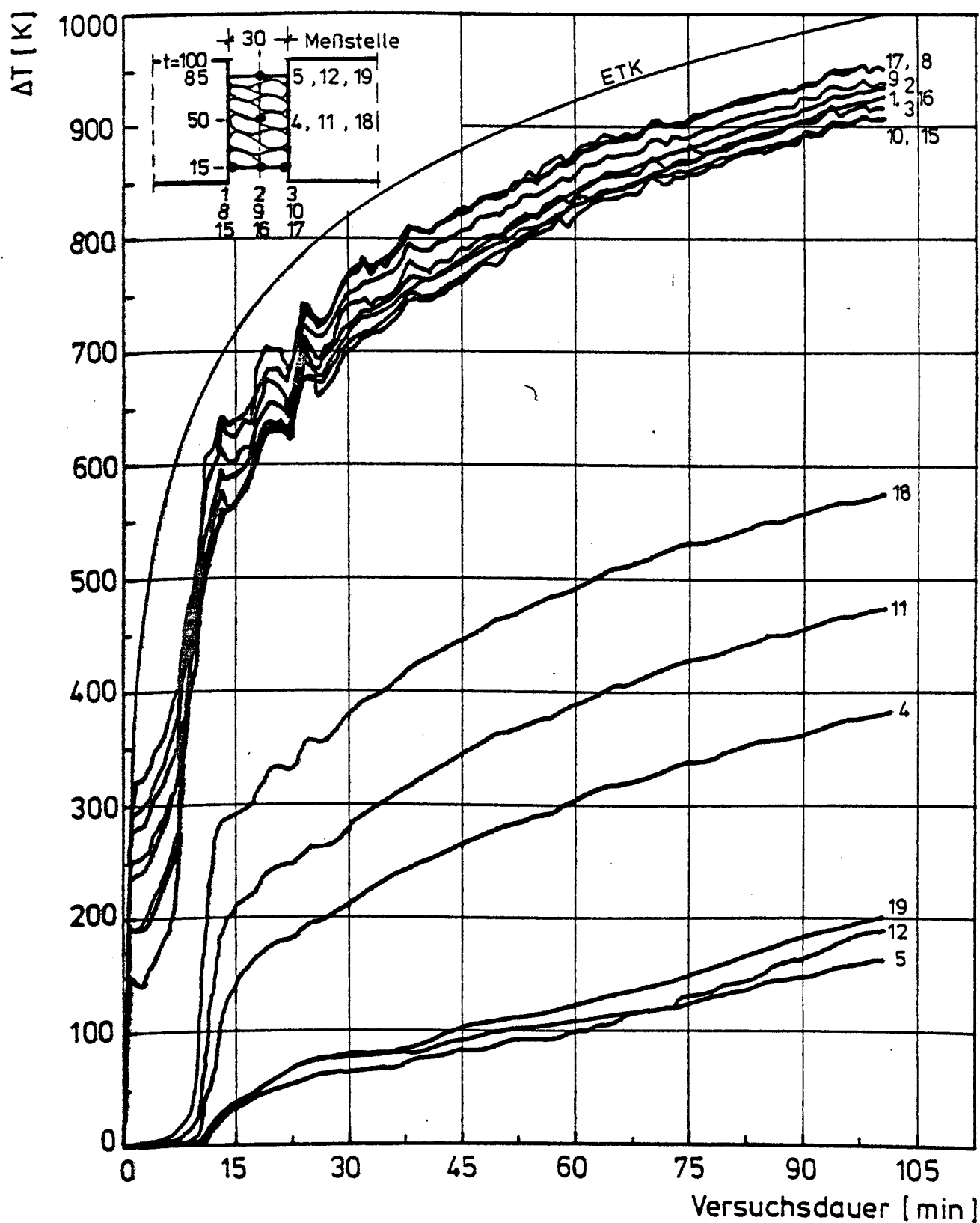
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.42

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 3



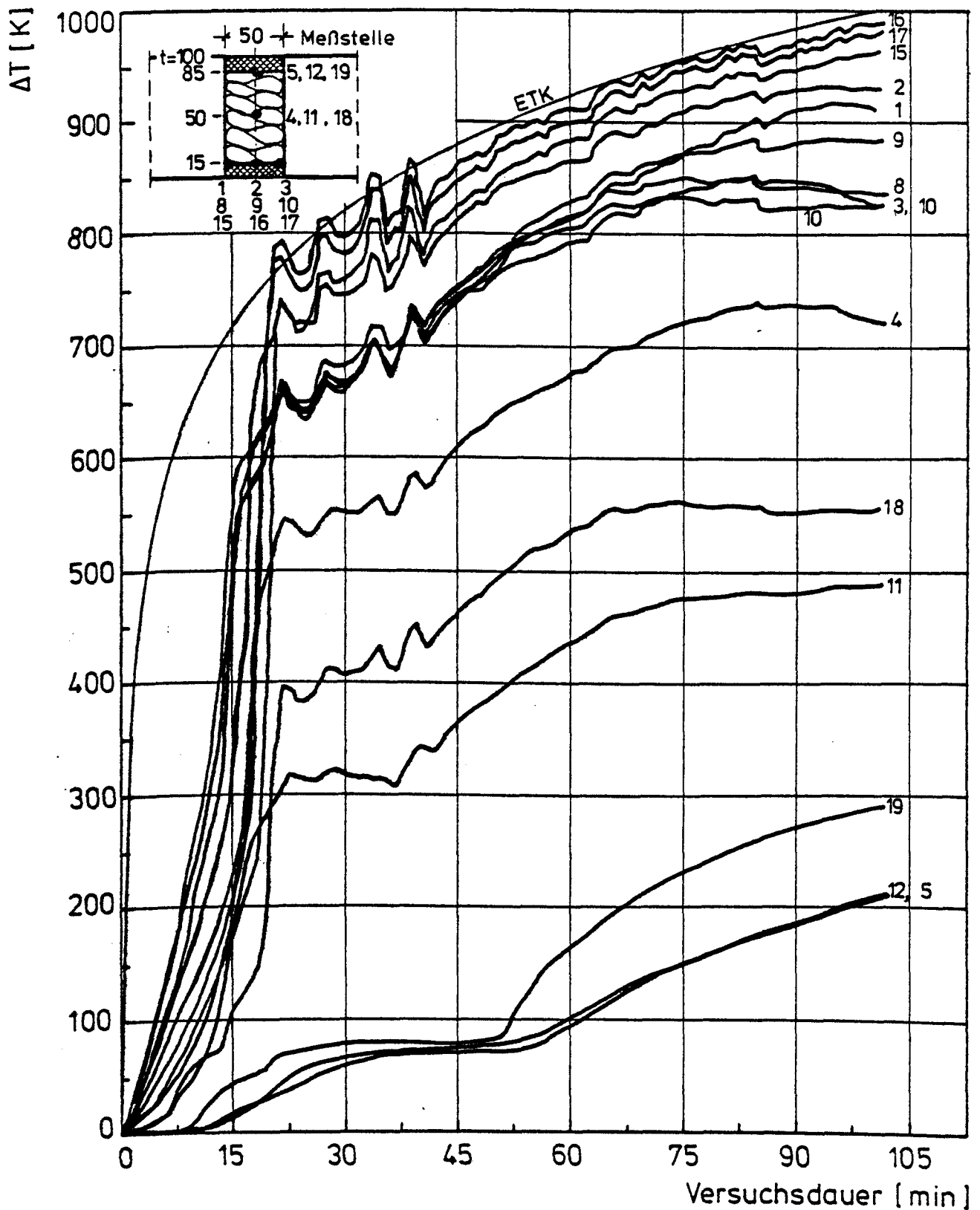
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.43

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 4



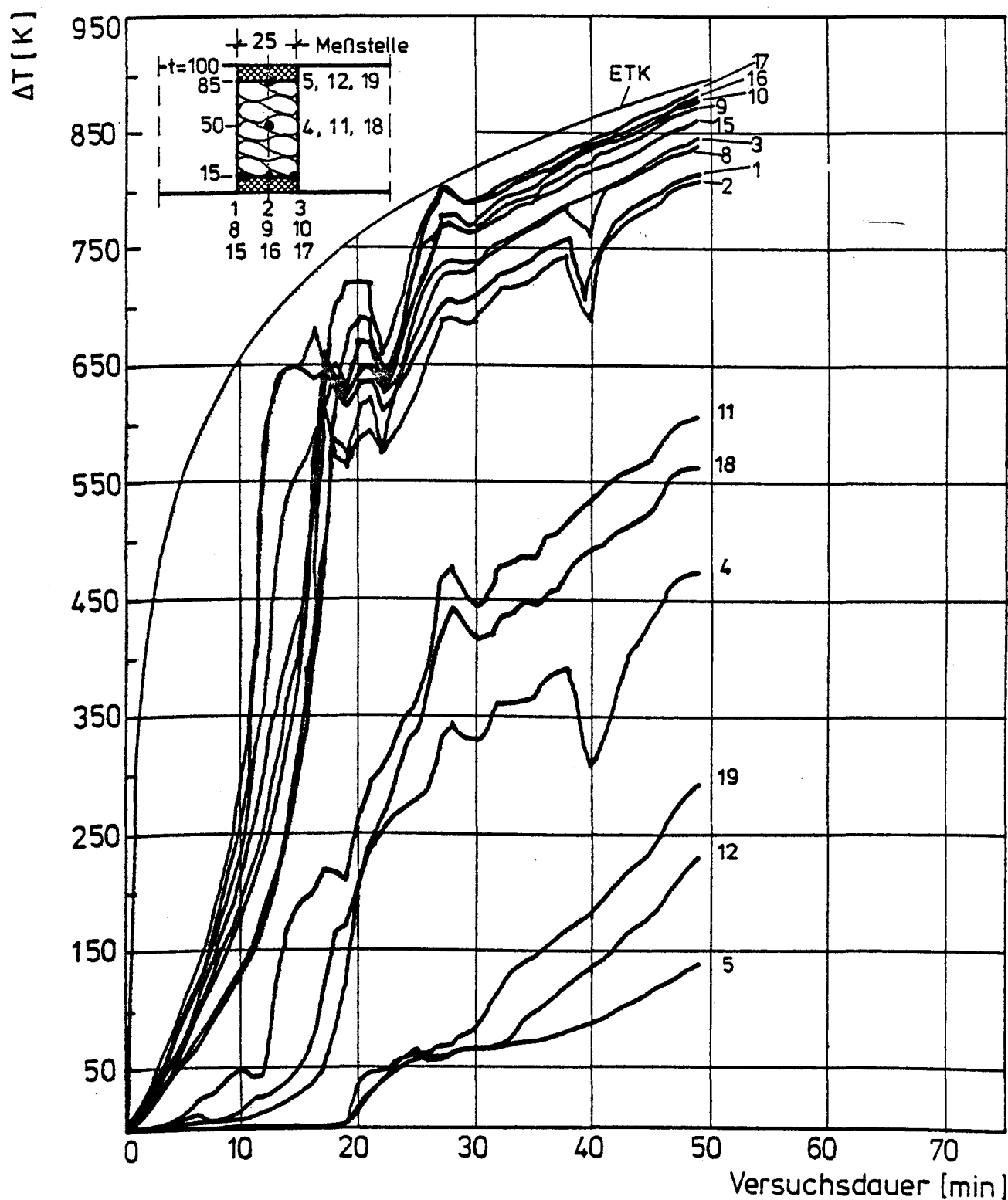
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.44

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 5



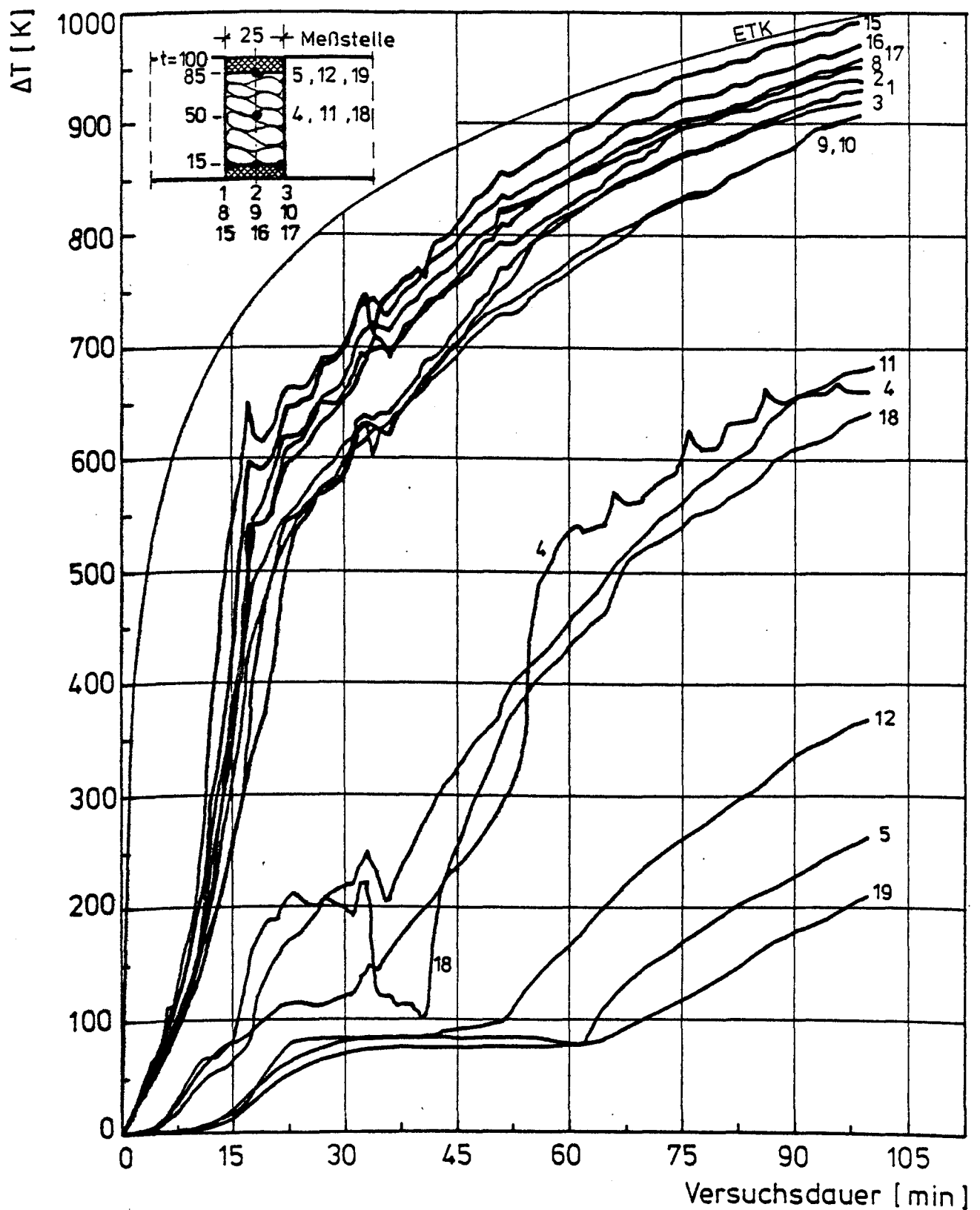
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.45

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 6



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

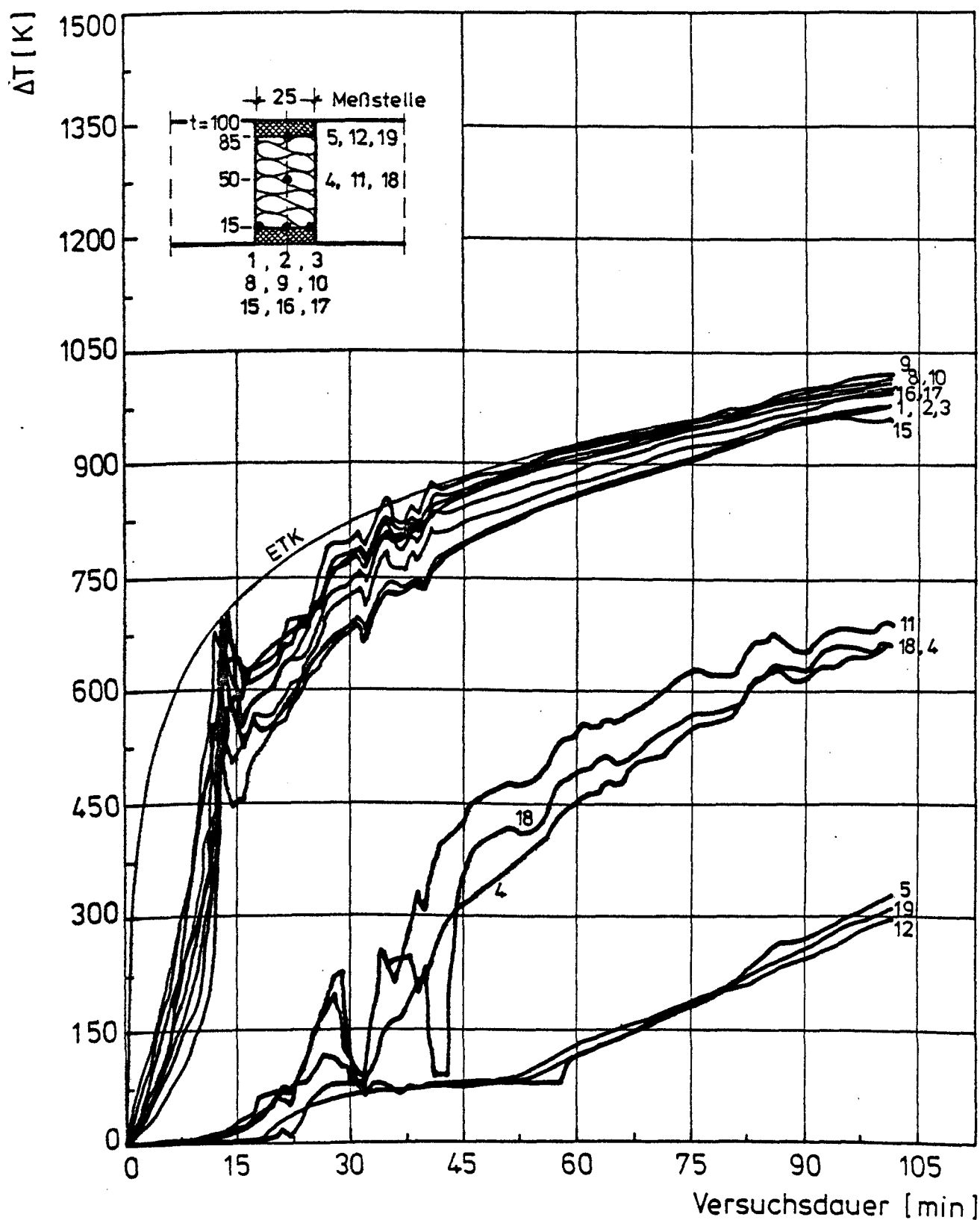
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.46

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 7



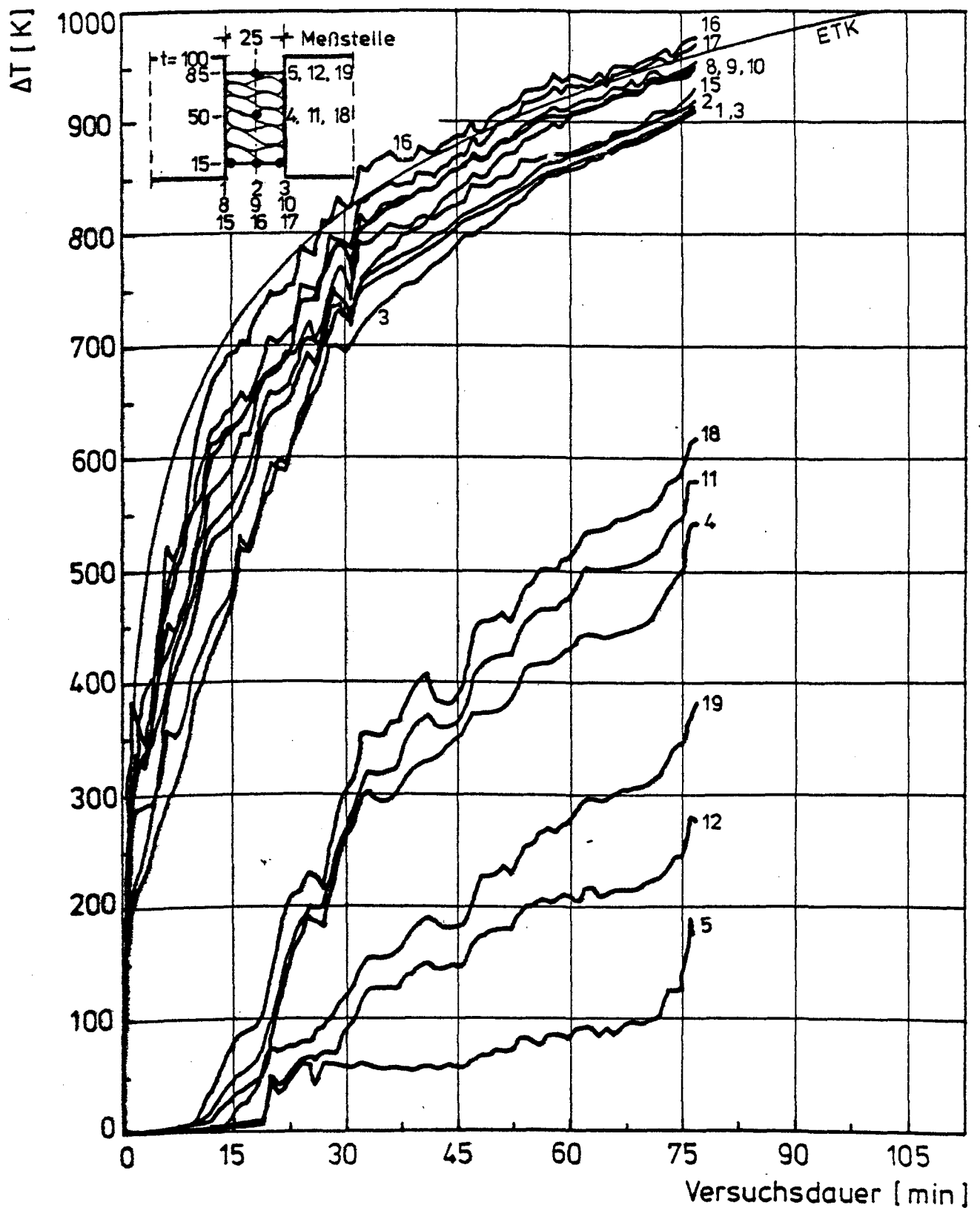
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.47

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 8



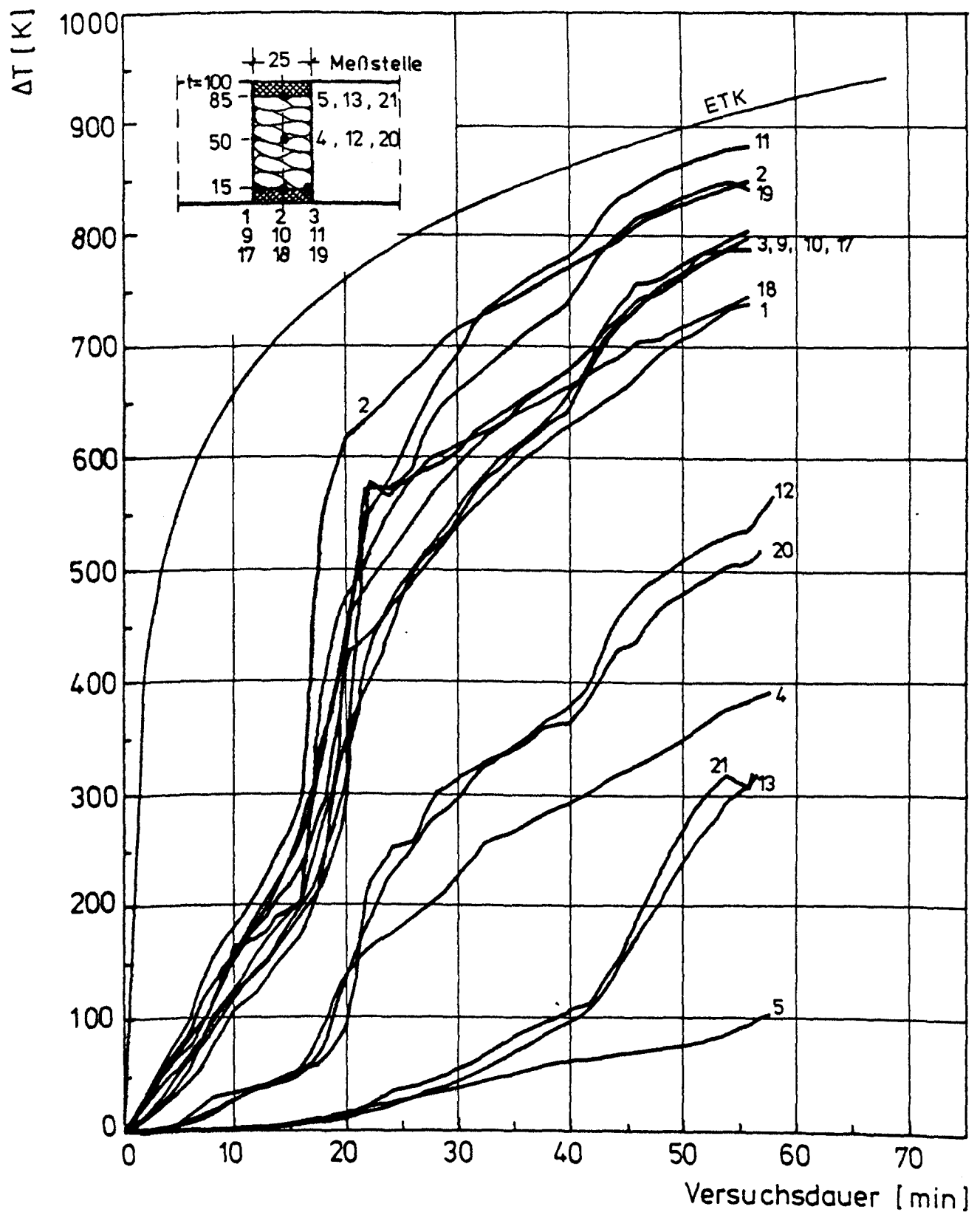
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.48

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 9



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

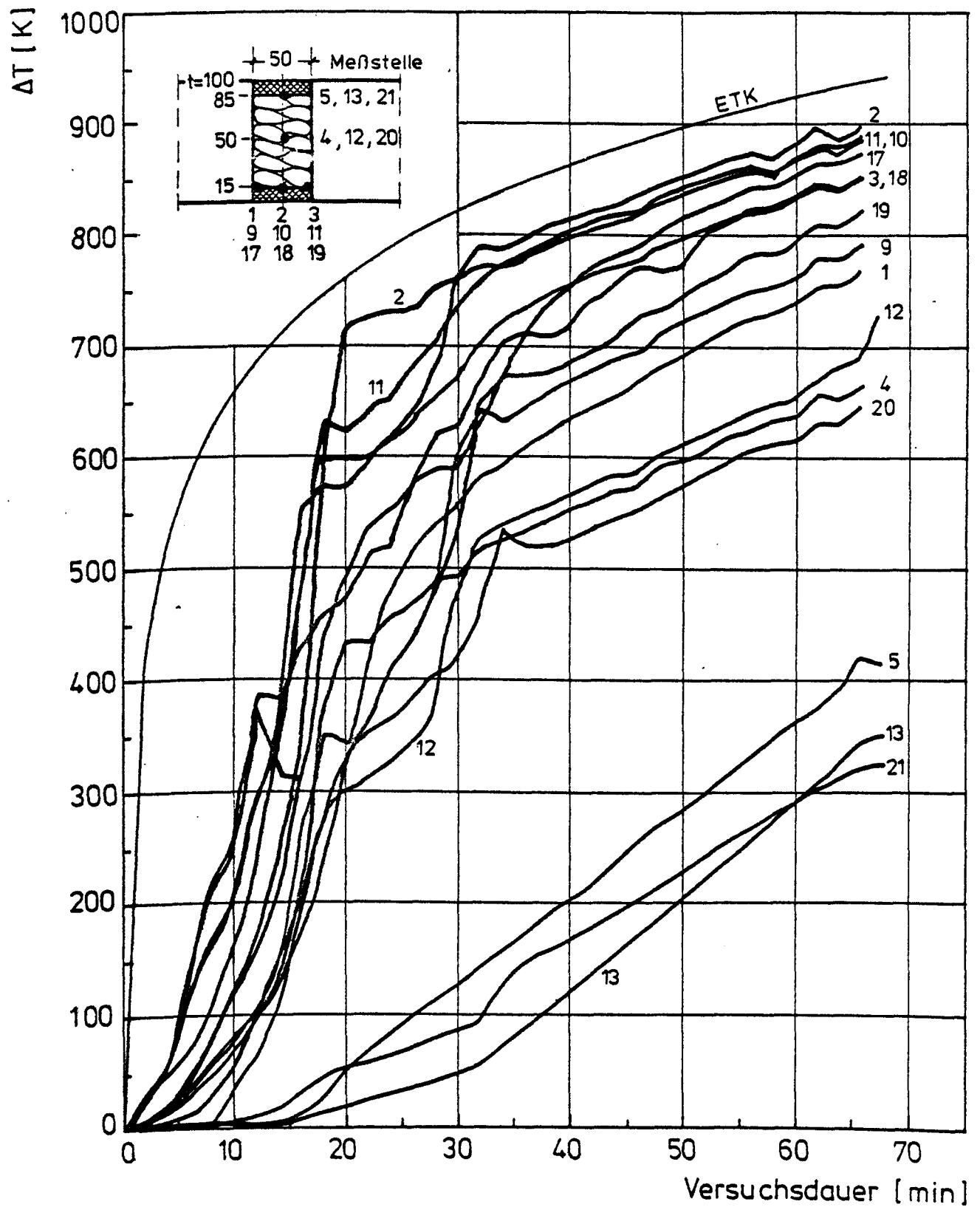
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.49

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 10



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

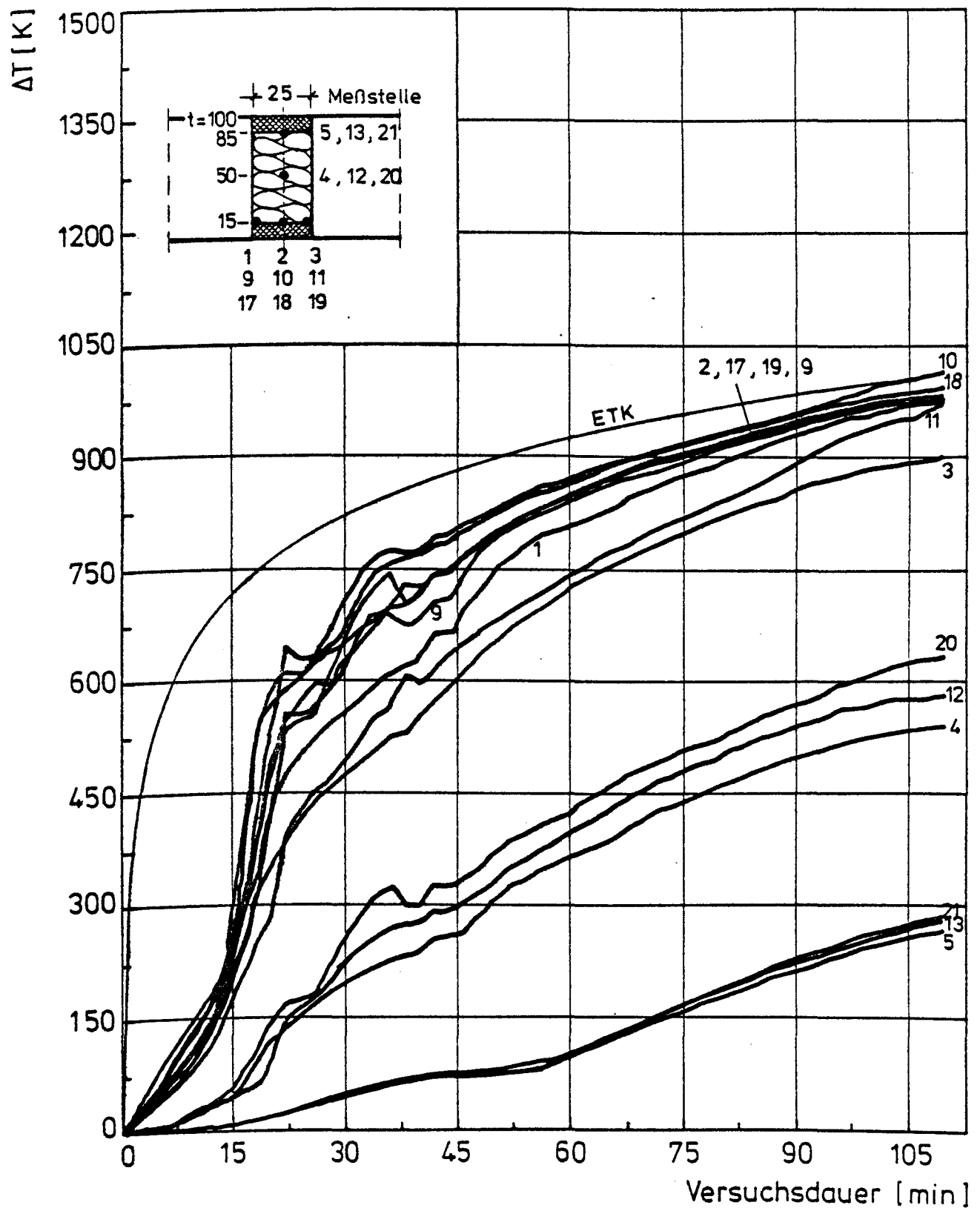
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.50

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 11



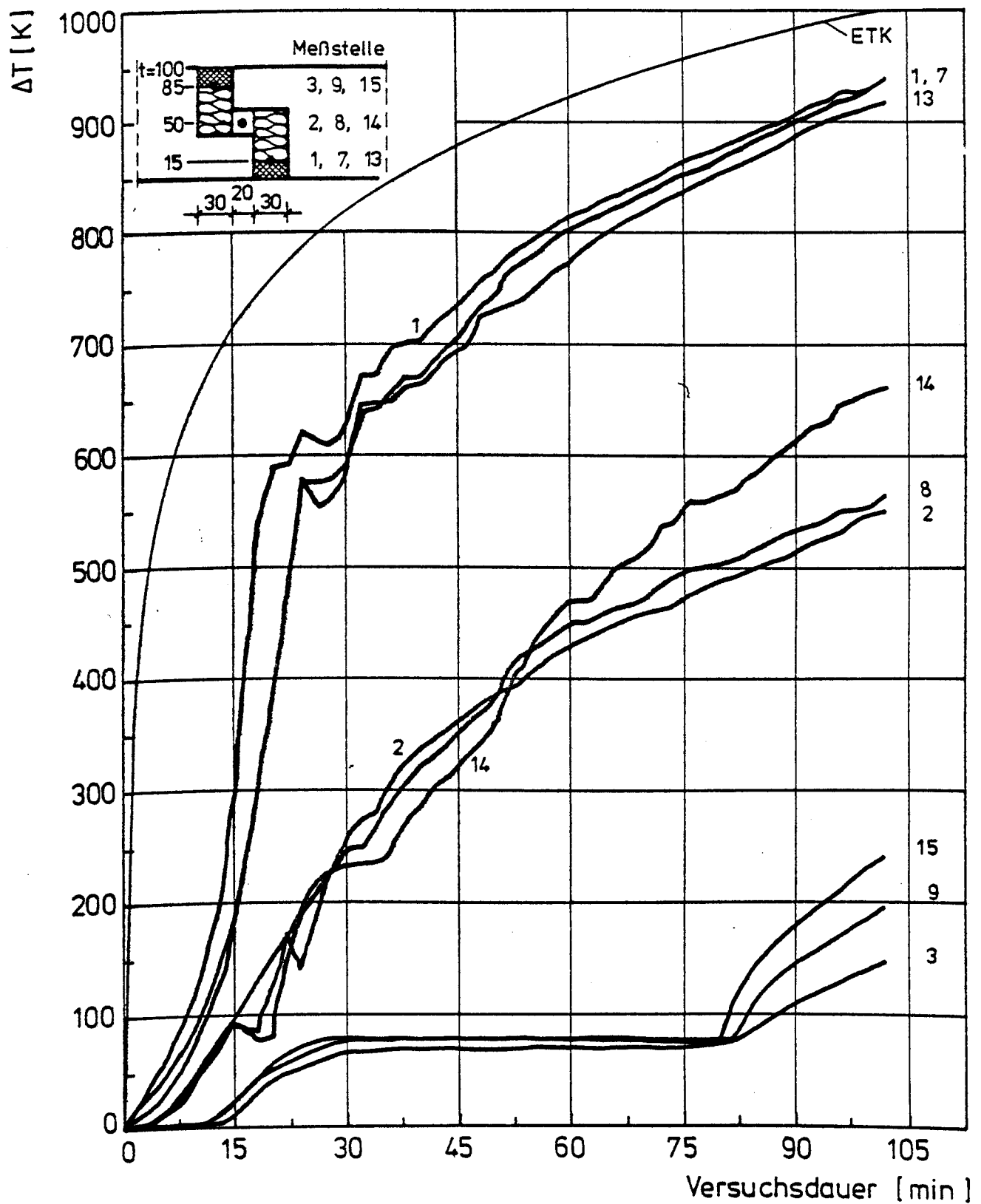
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.51

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 12



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

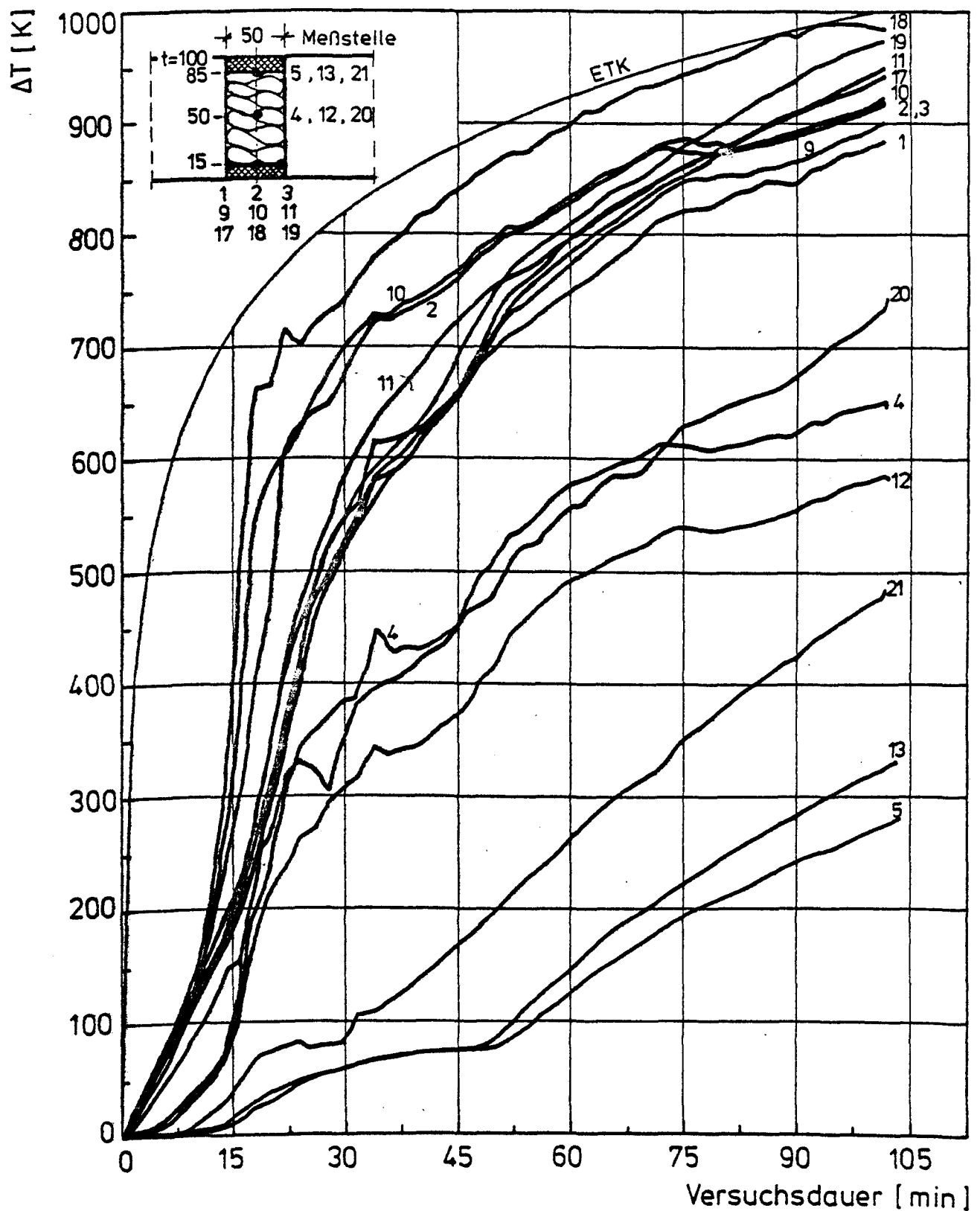
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.52

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 13



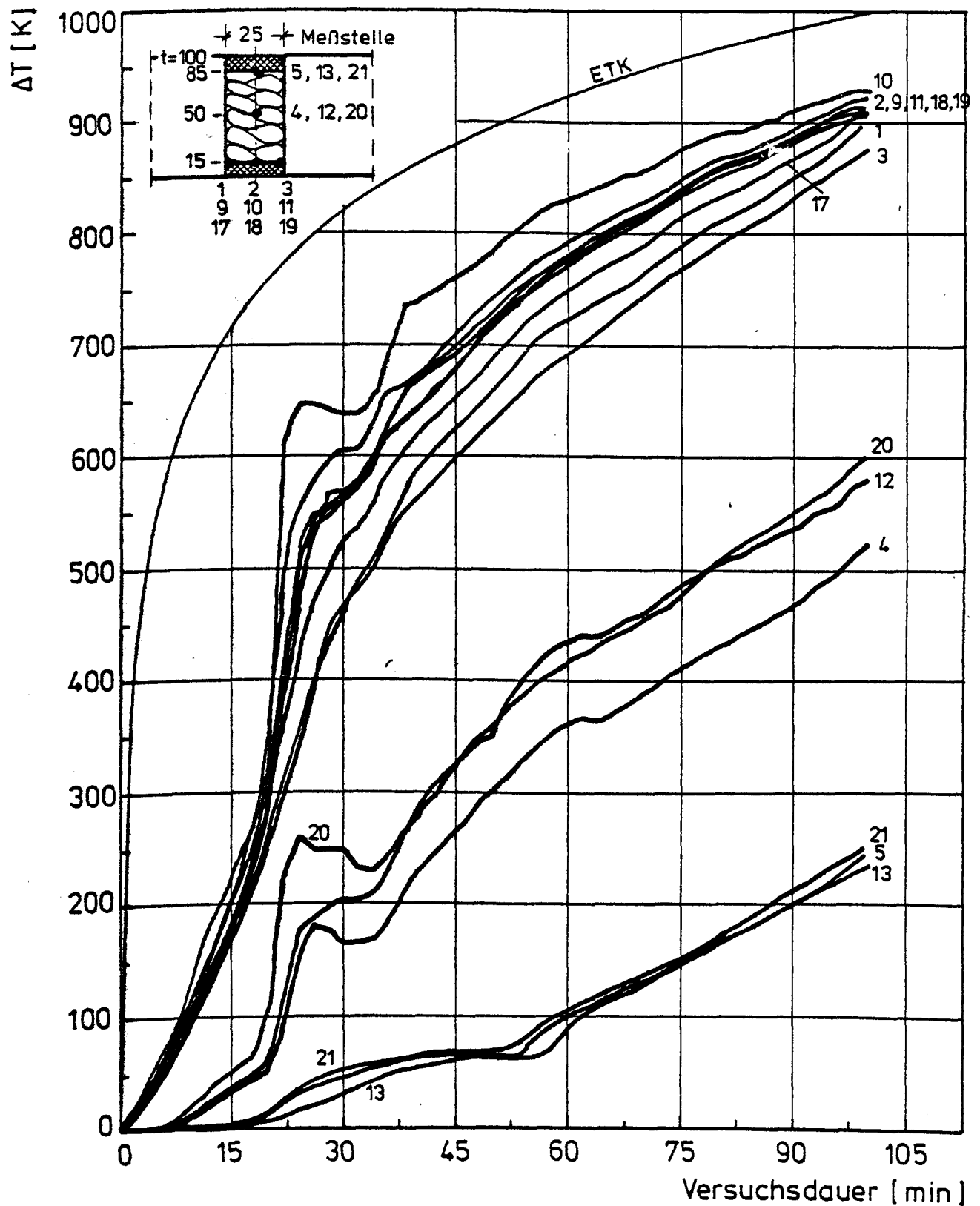
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.53

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 14



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

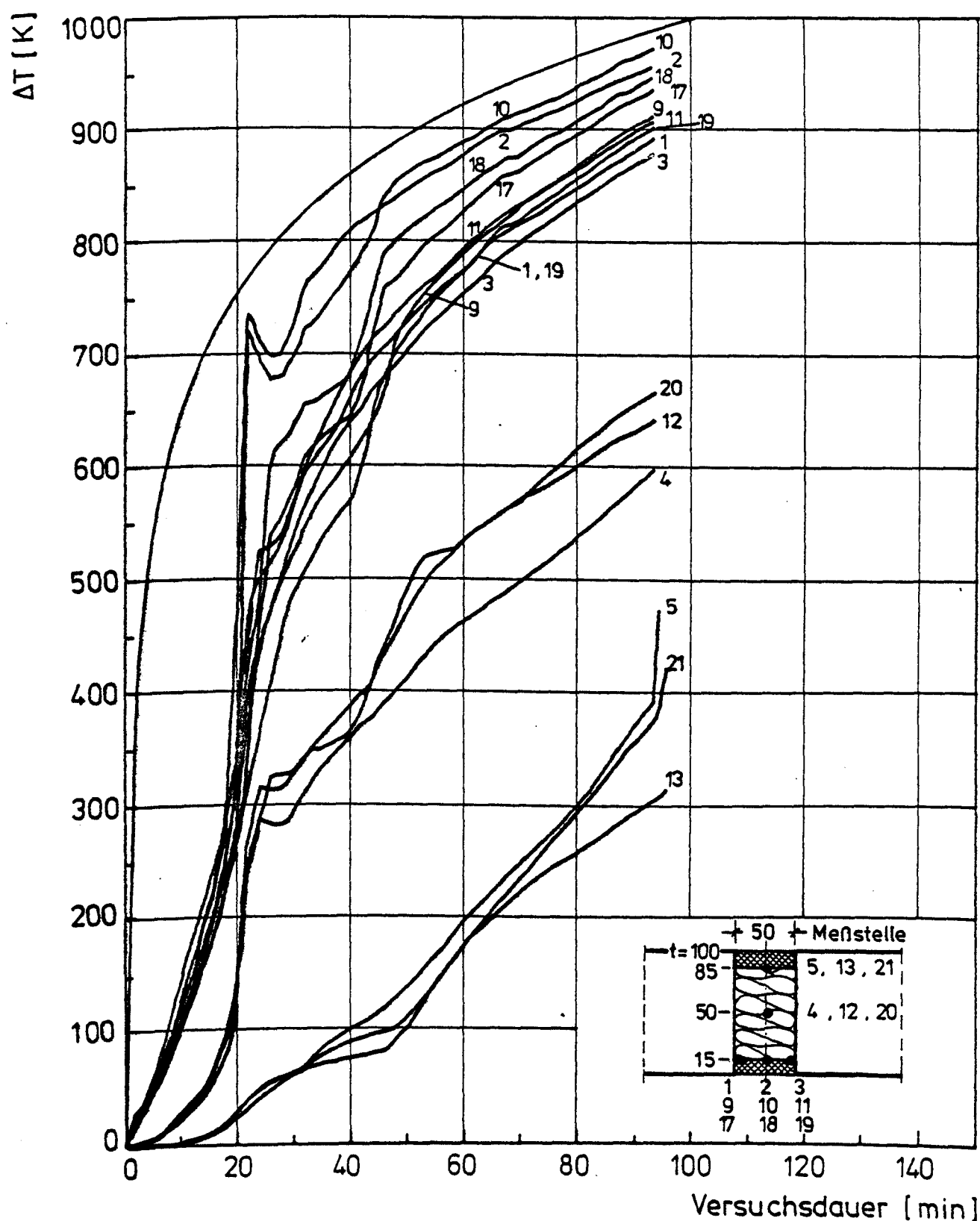
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.54

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 15



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

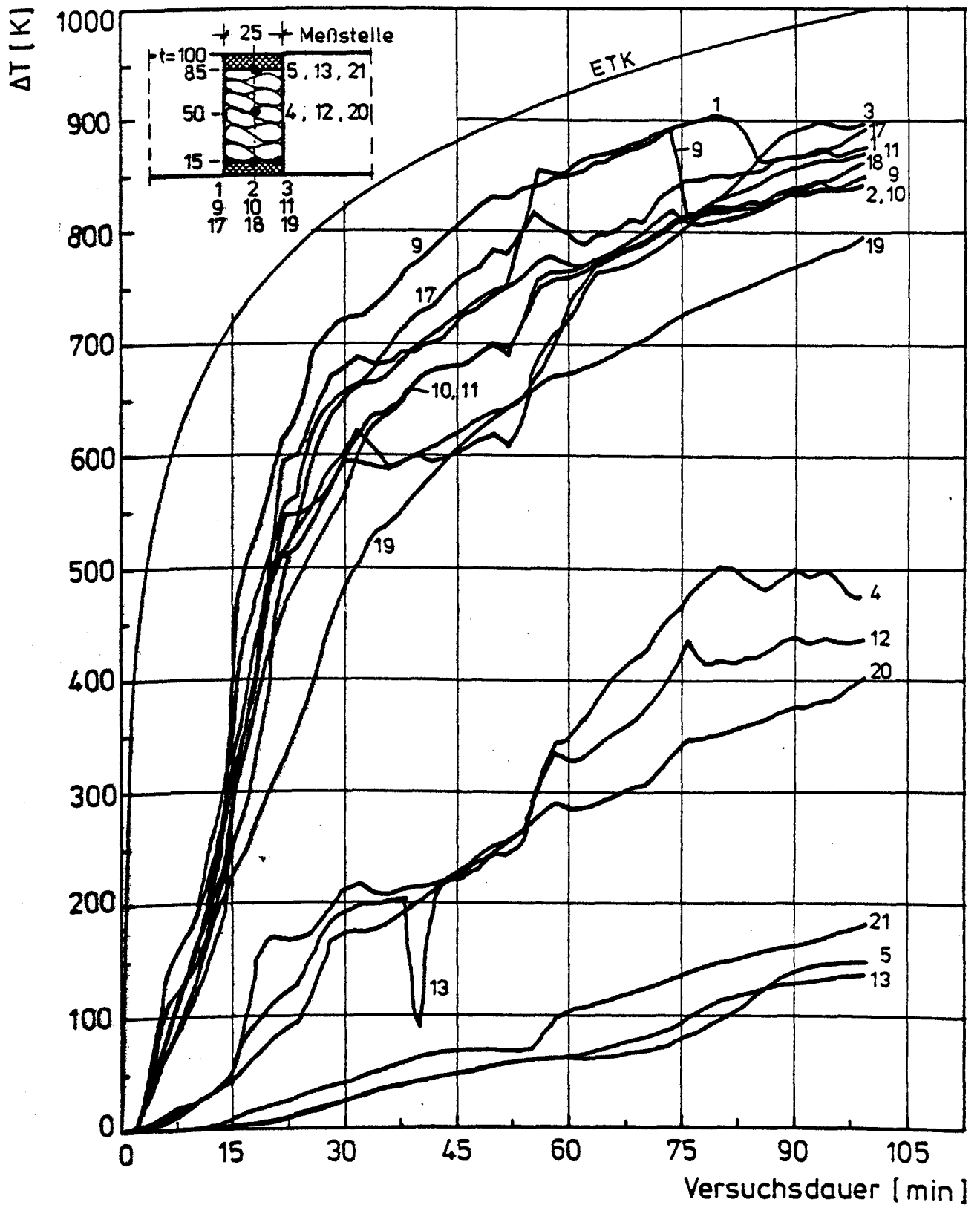
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.55

Temperaturentwicklung in der Fuge

Versuch 16



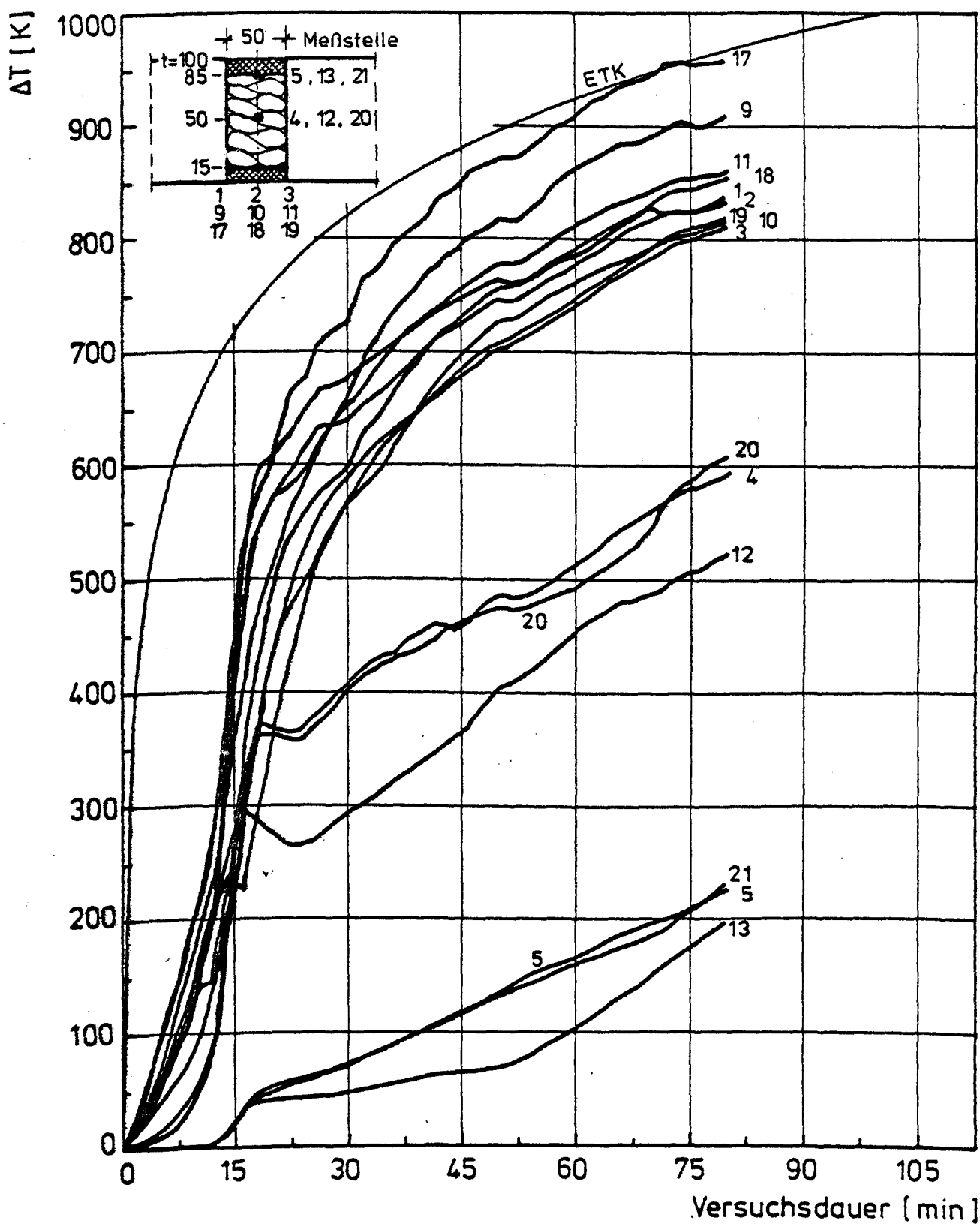
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.56

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 17



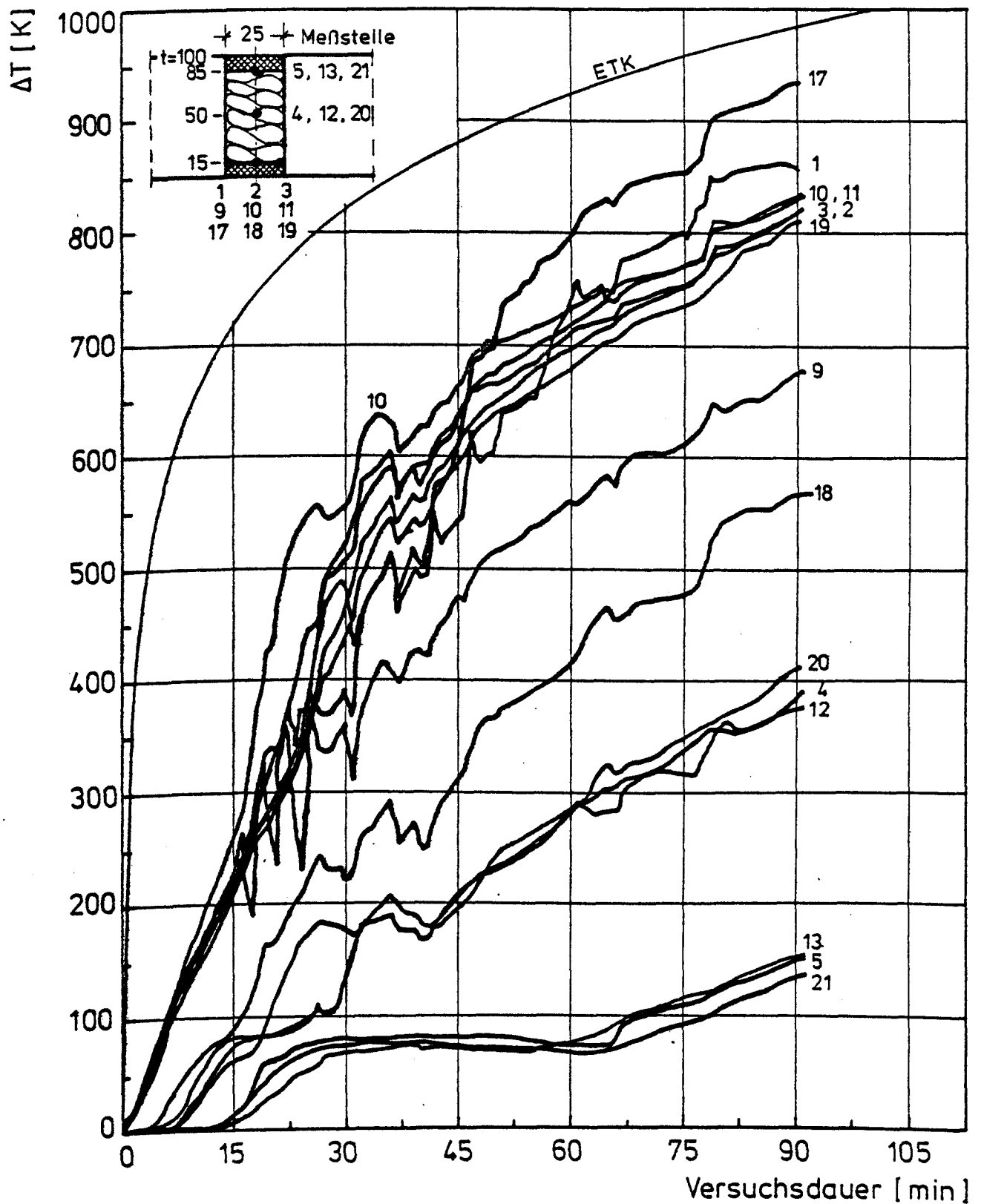
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.57

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 18



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

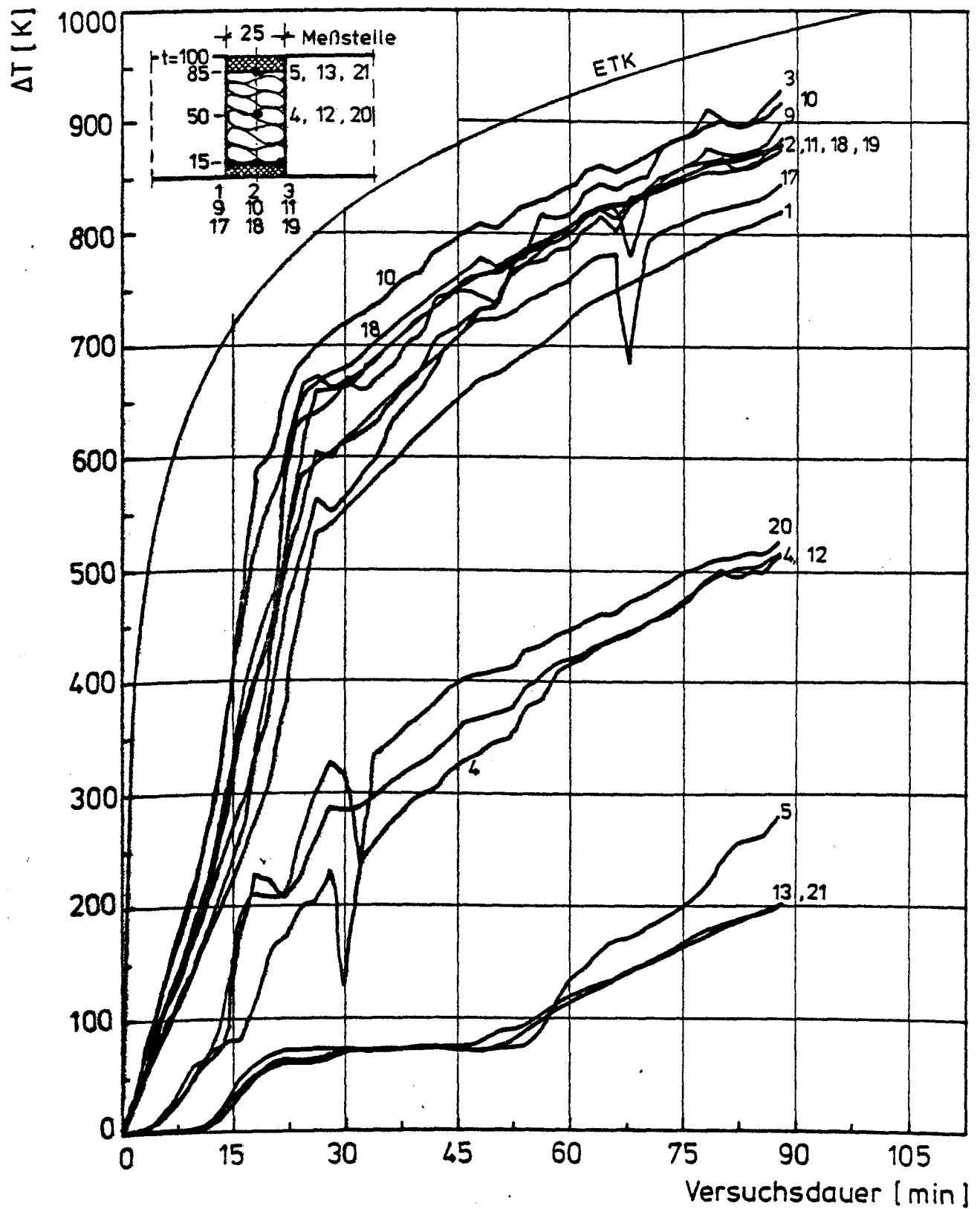
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.58

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 19

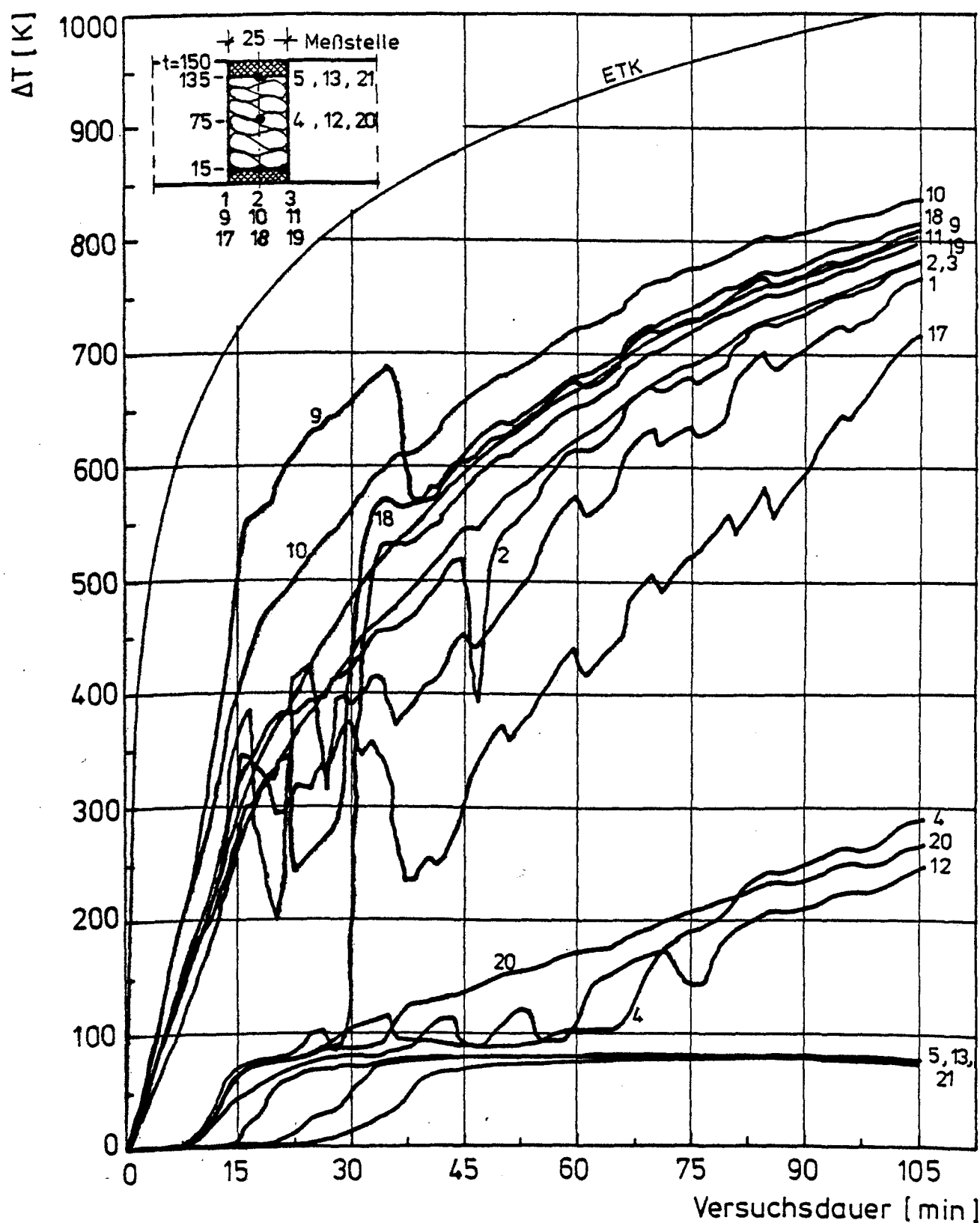


Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.59

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 20

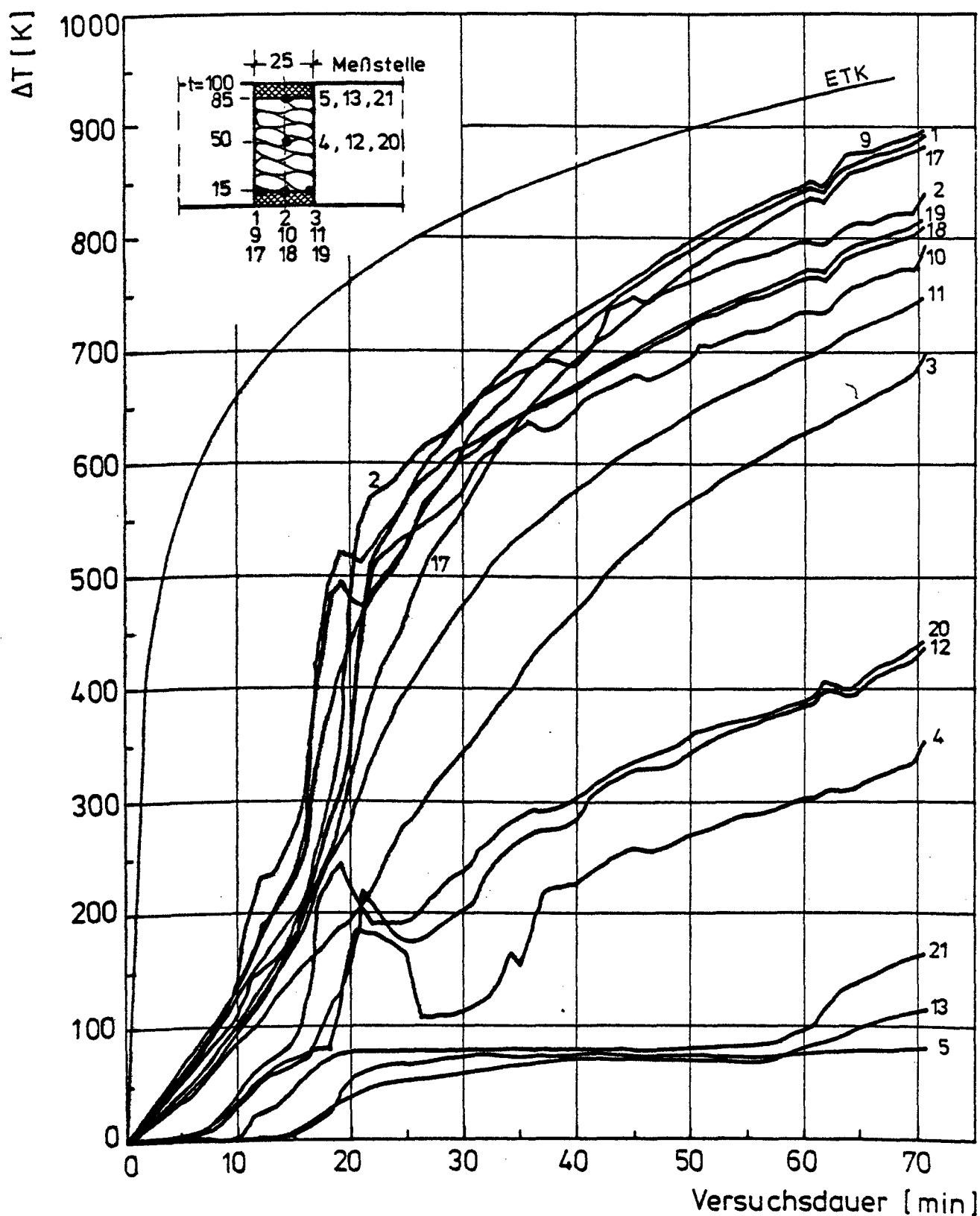


Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.60

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 21



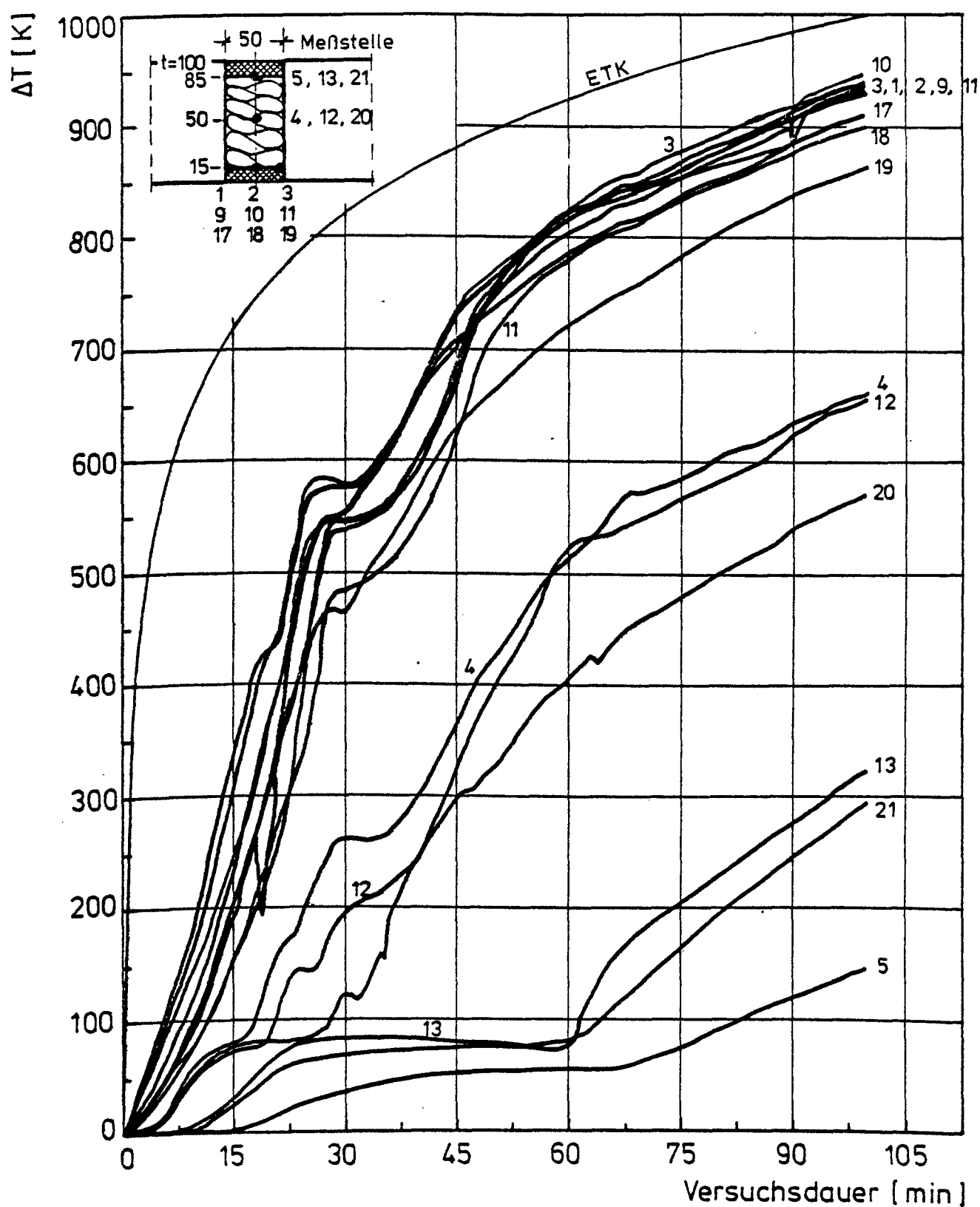
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.61

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 22



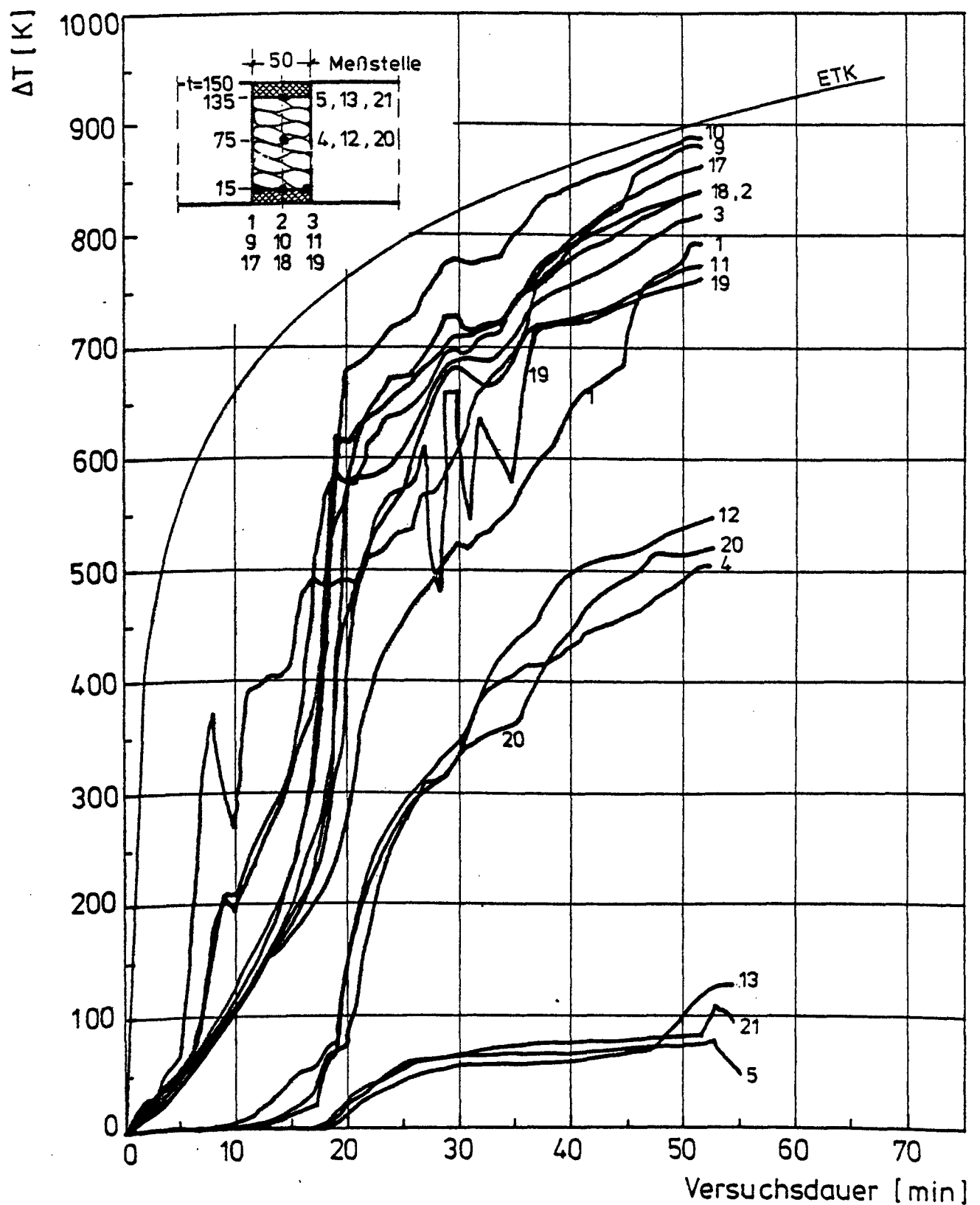
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.62

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 23



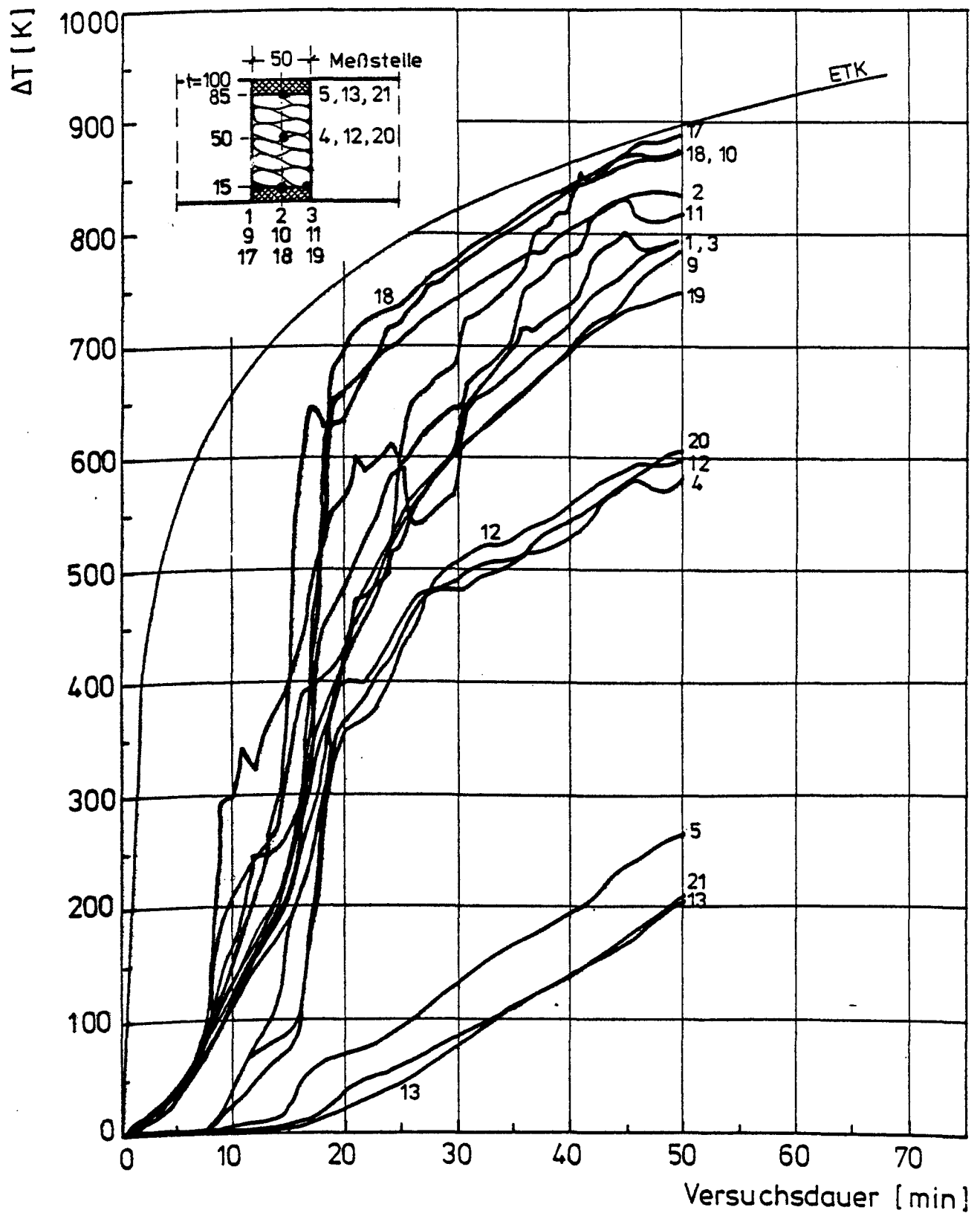
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.63

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 24



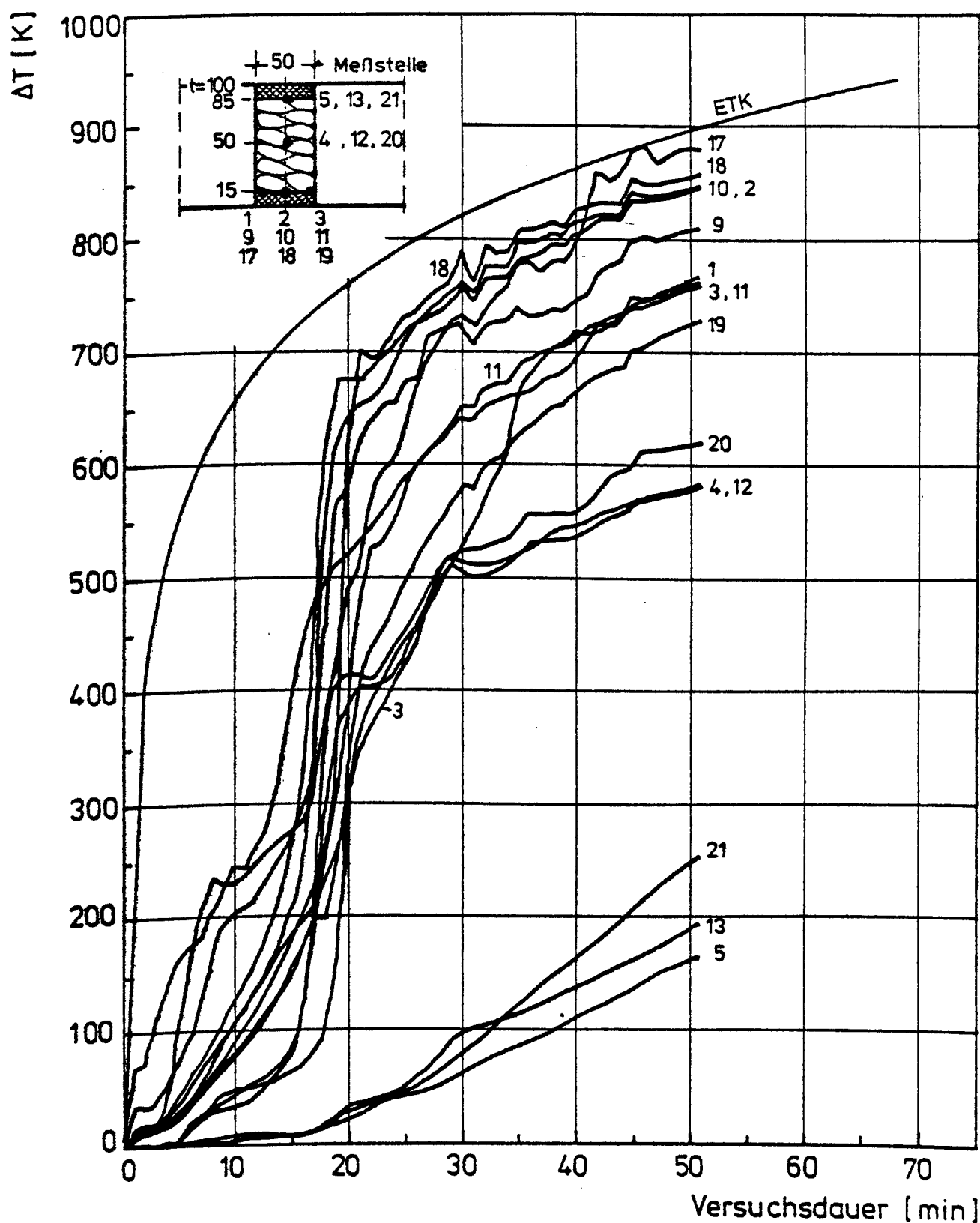
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.64

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 25



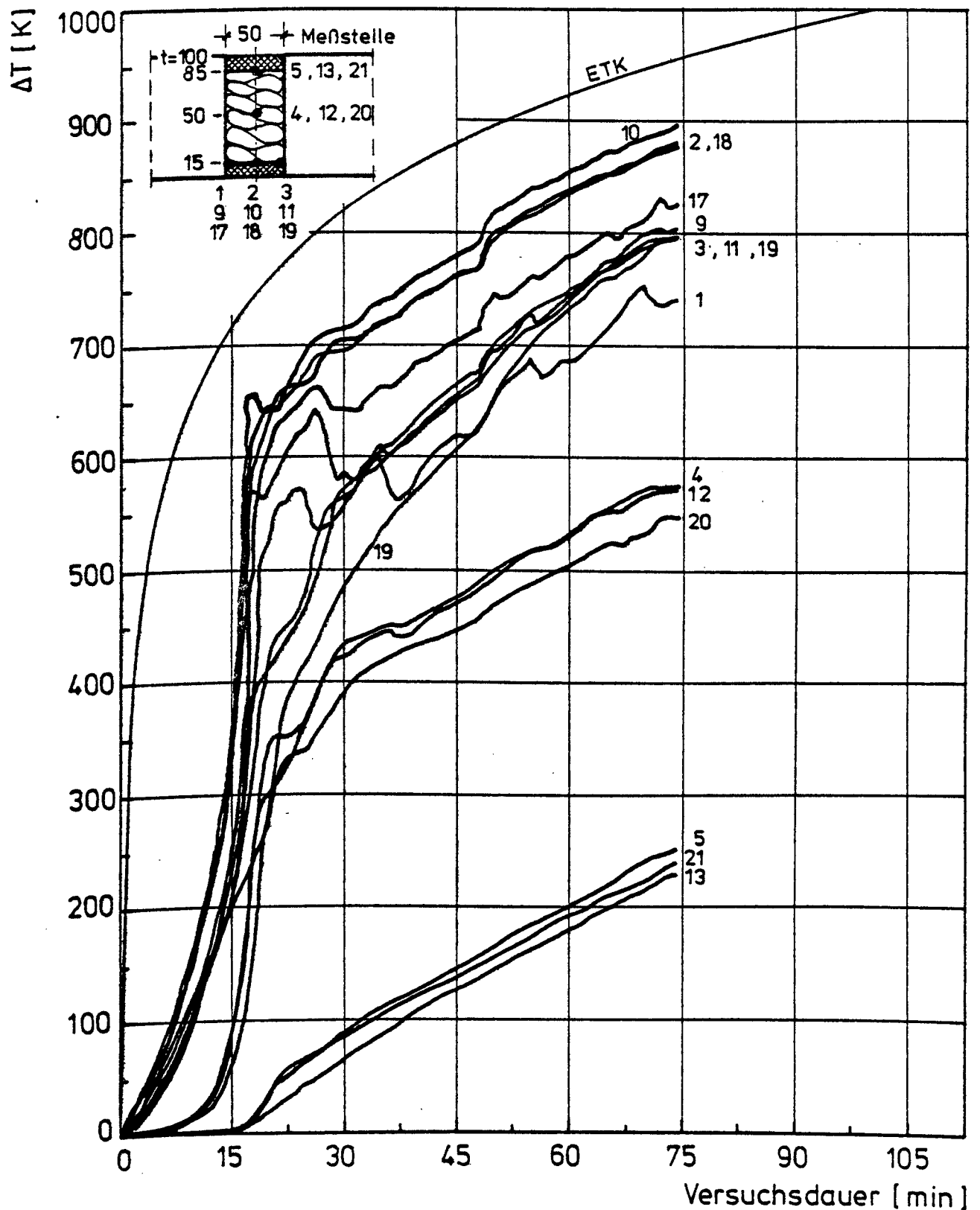
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.65

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 26



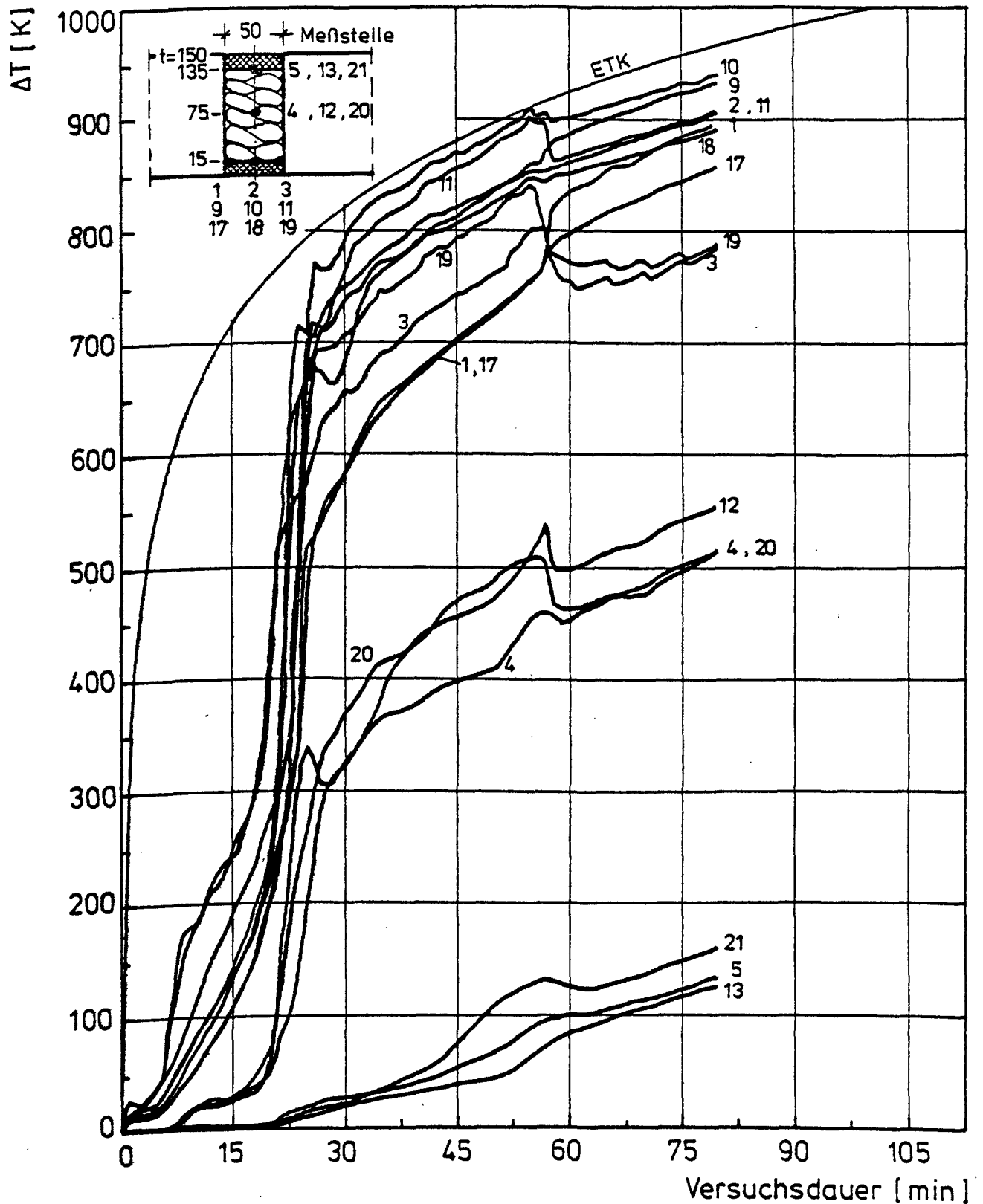
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.66

Temperaturentwicklung in der Fuge Versuch 27



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

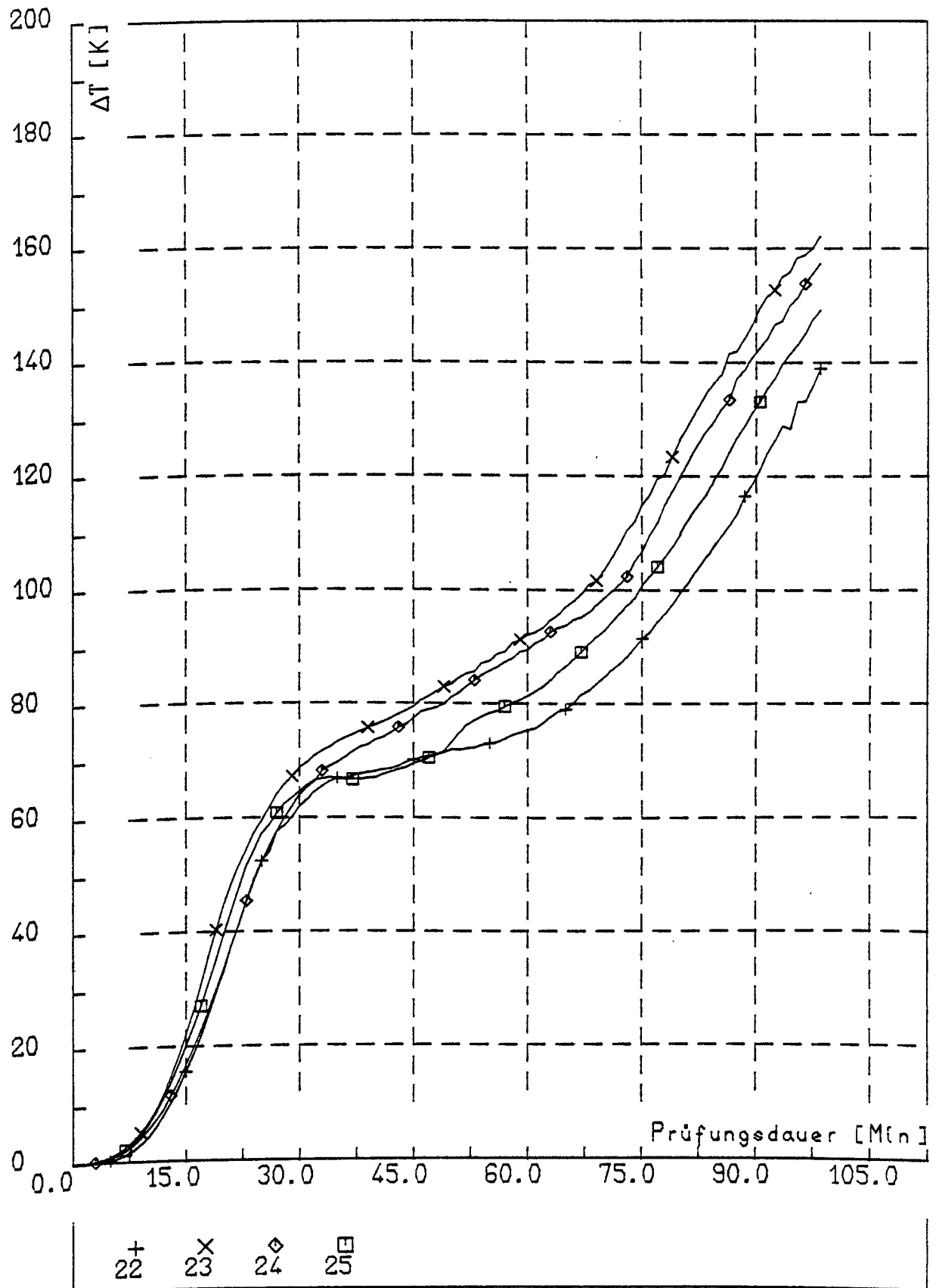
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.67

Temperaturmessungen an der Betonoberfläche

Versuch 2



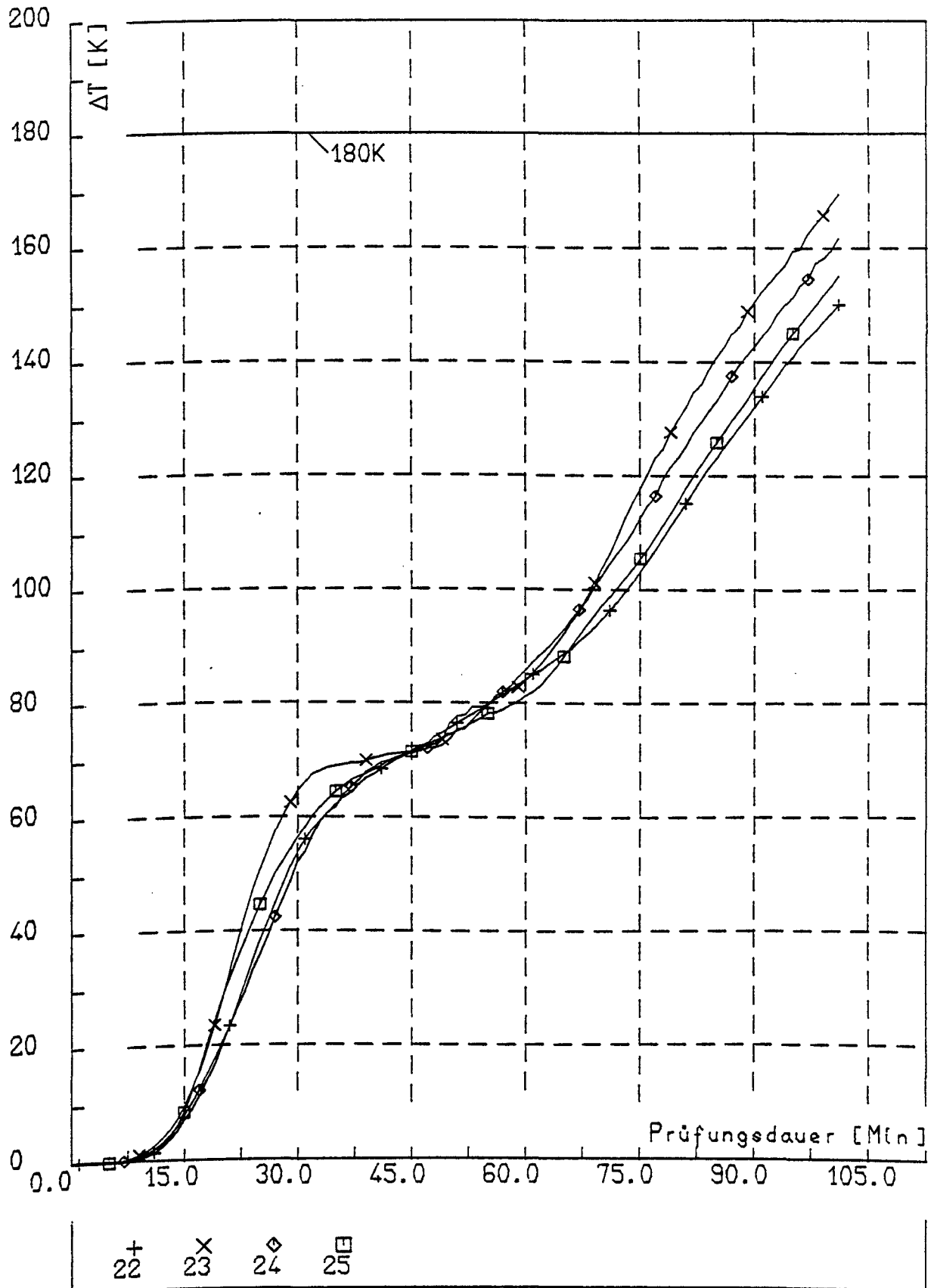
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.72

Versuch 3



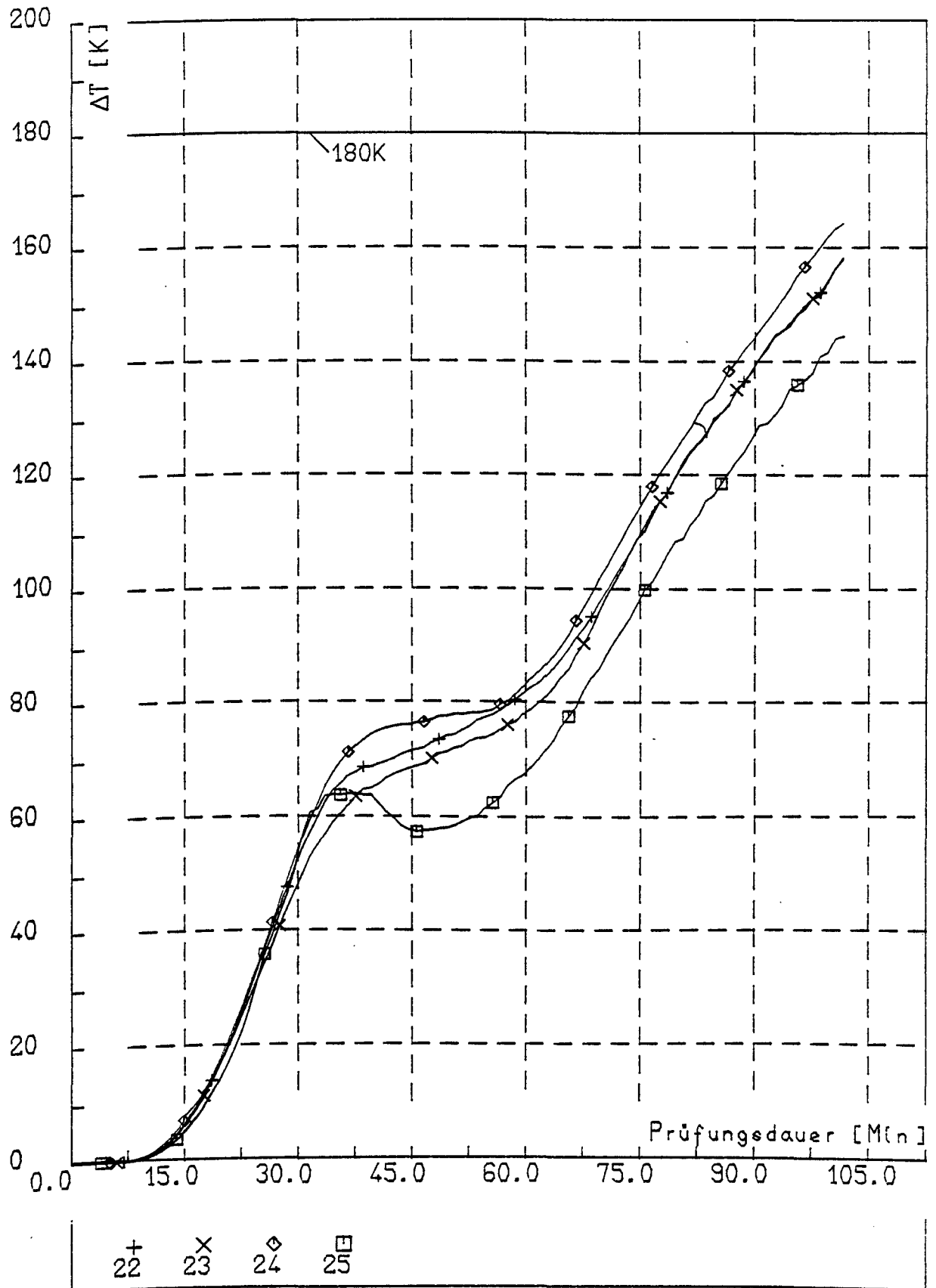
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.73

Versuch 4



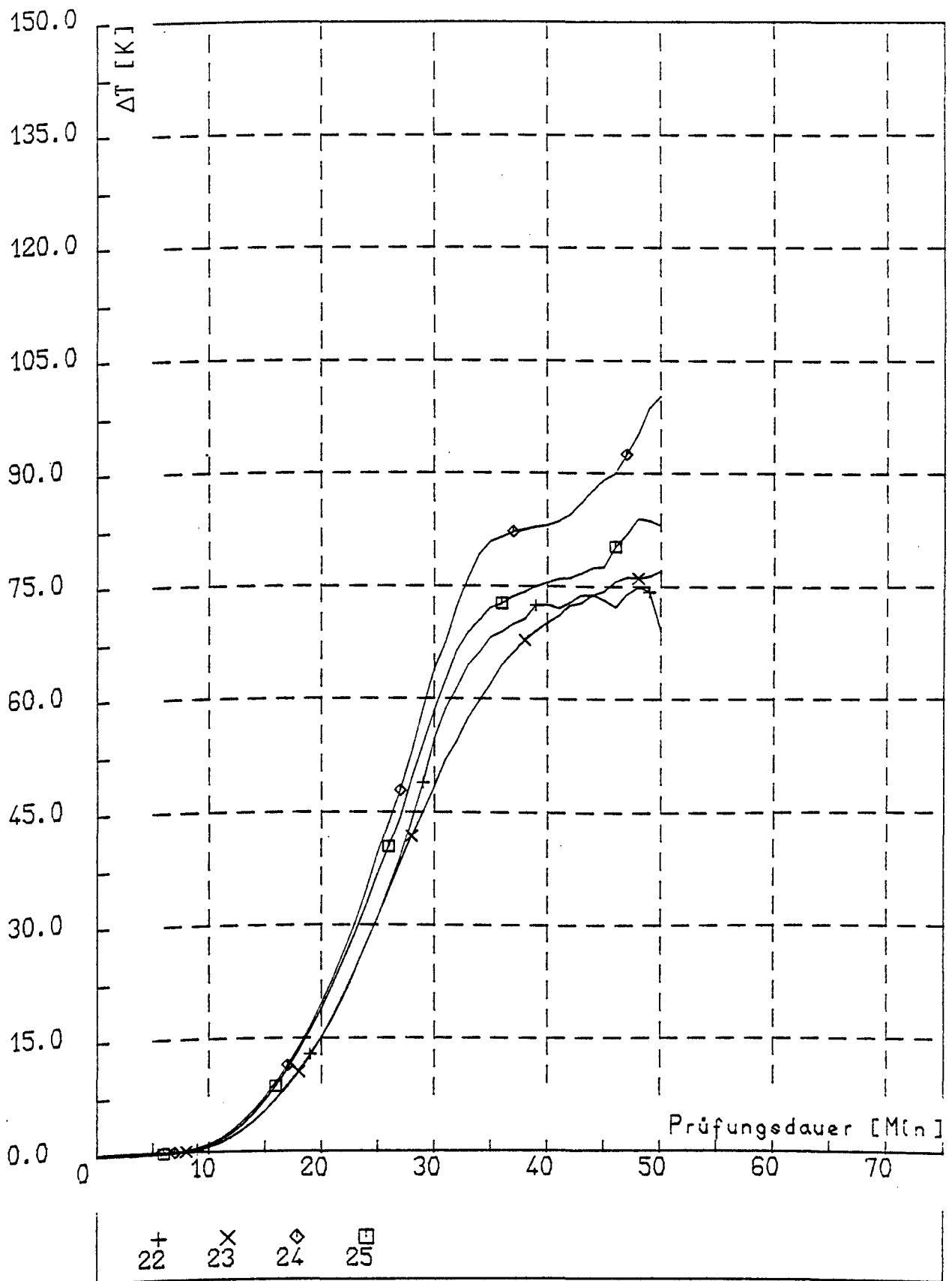
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.74

Temperaturmessungen an der Betonoberfläche Versuch 5



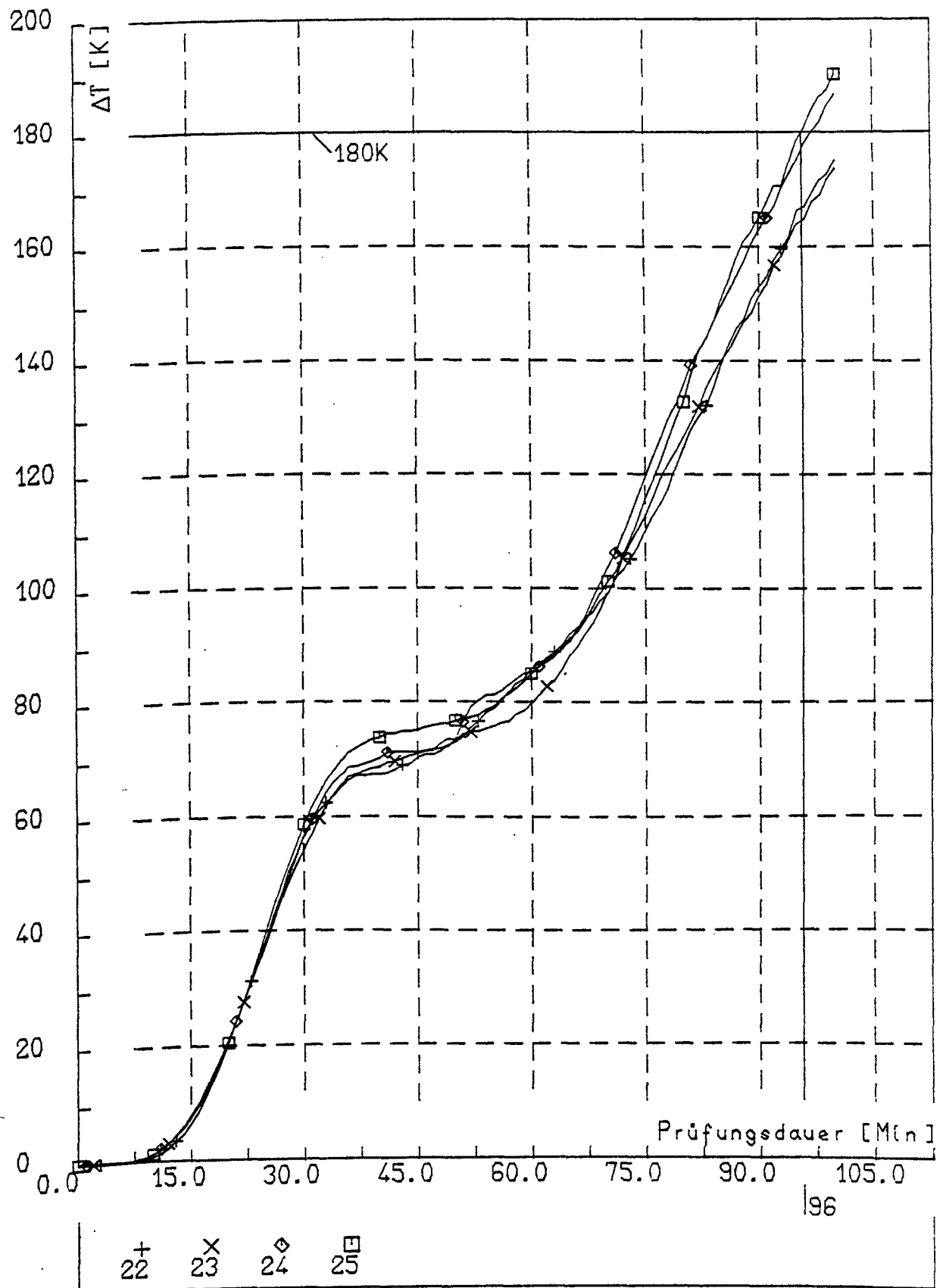
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.75

Versuch 6



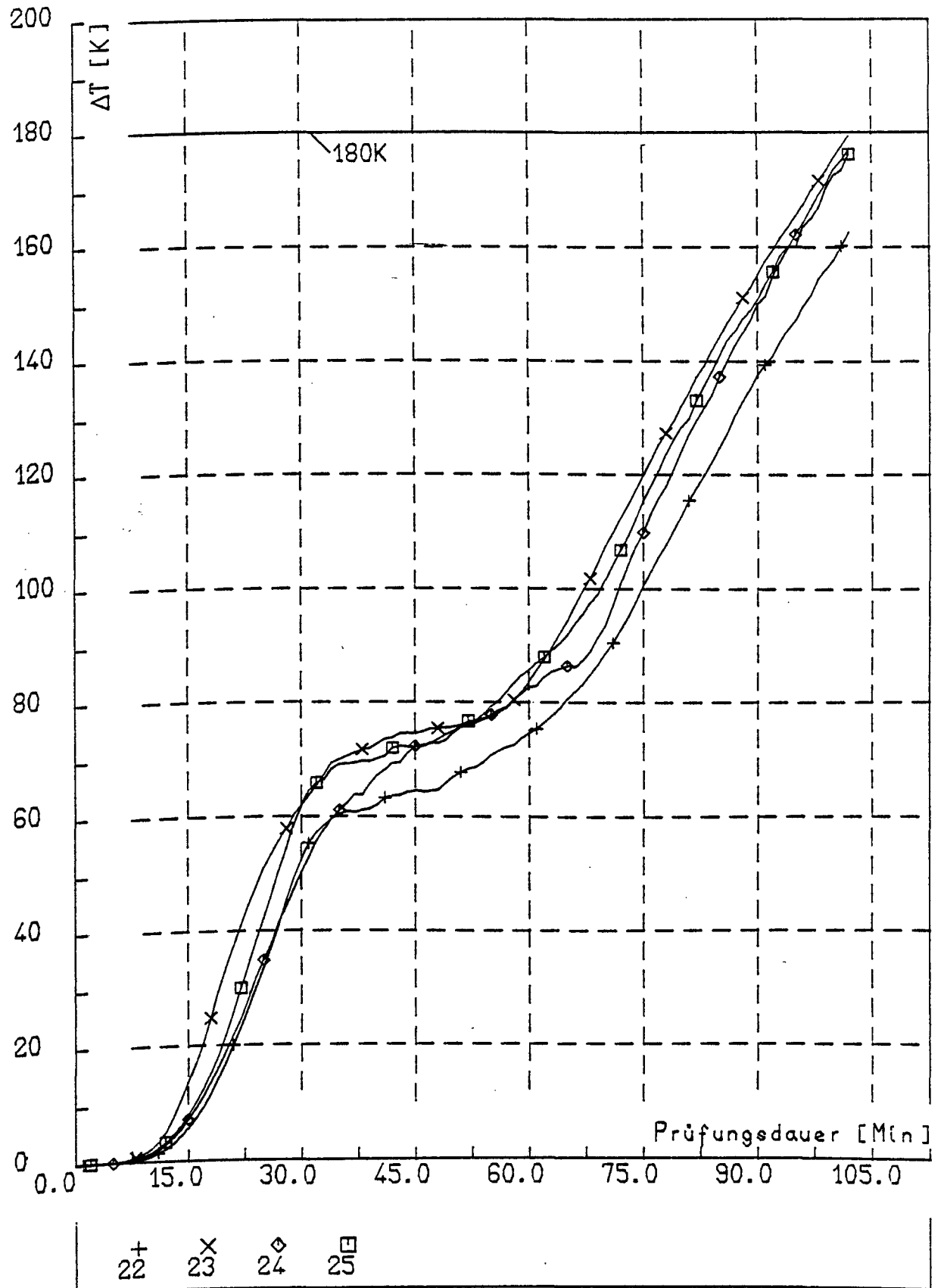
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.76

Versuch 7



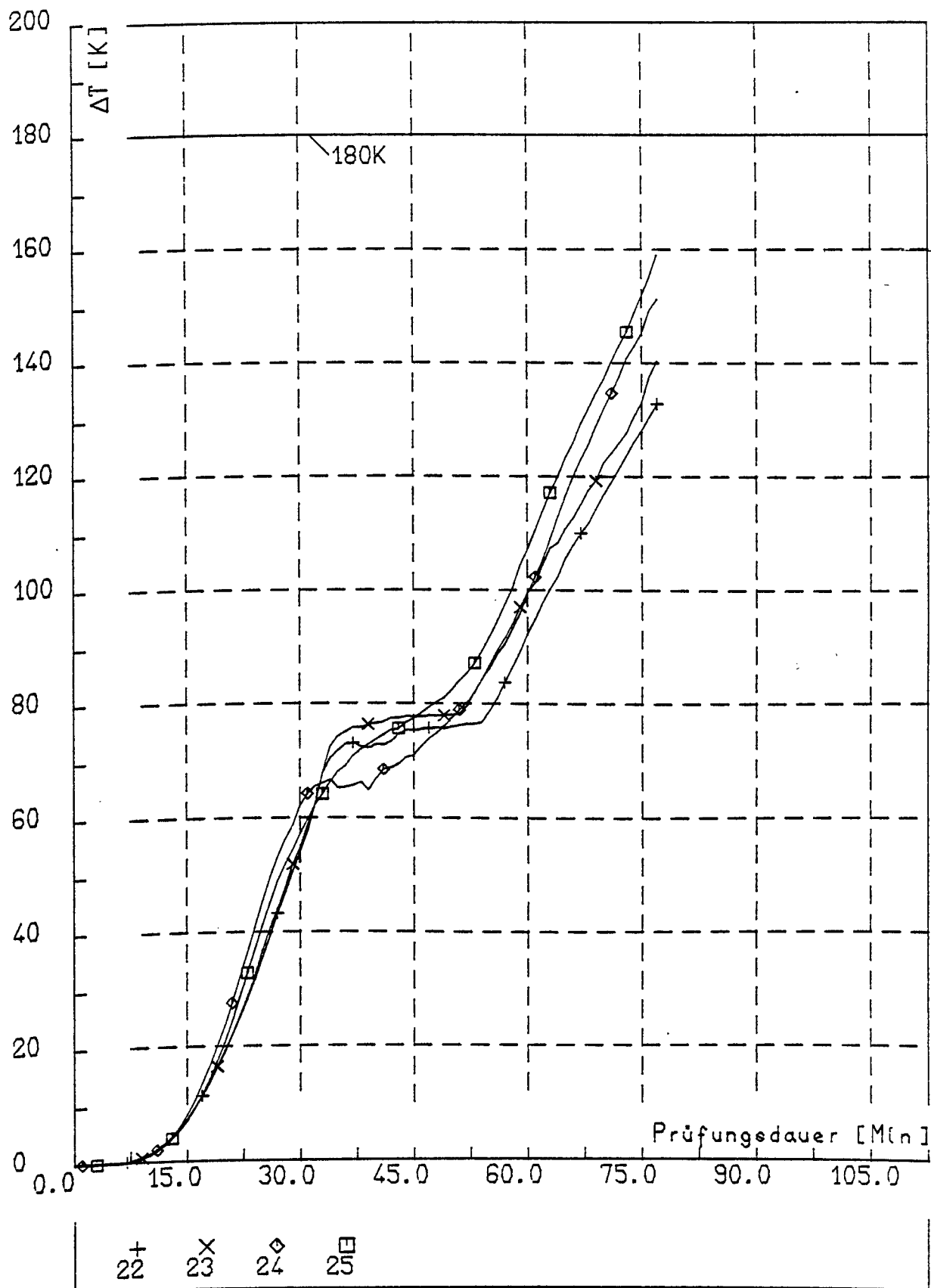
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.77

Versuch 8



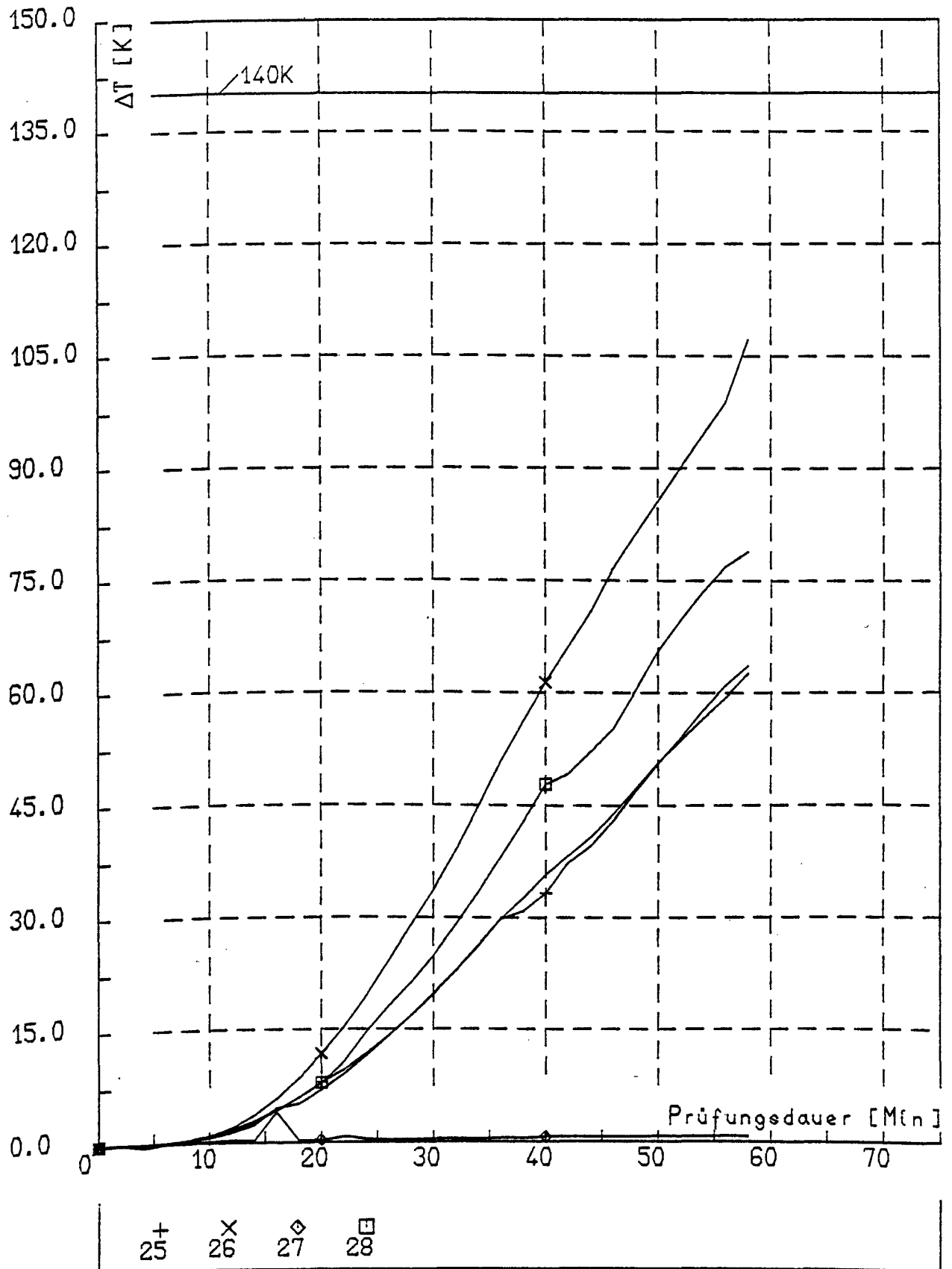
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.78

Versuch 9



Dehnungen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

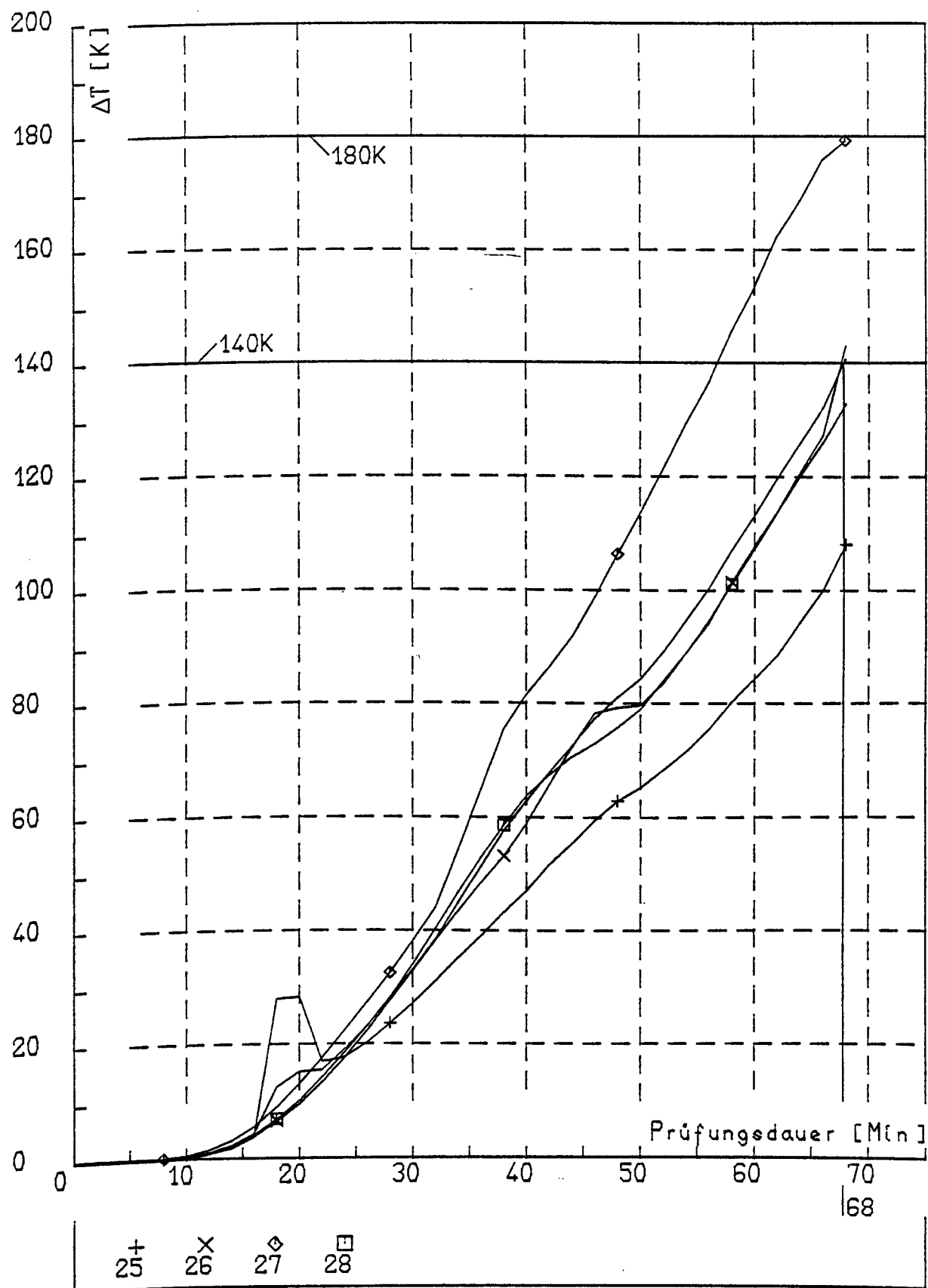
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.79

Versuch 10



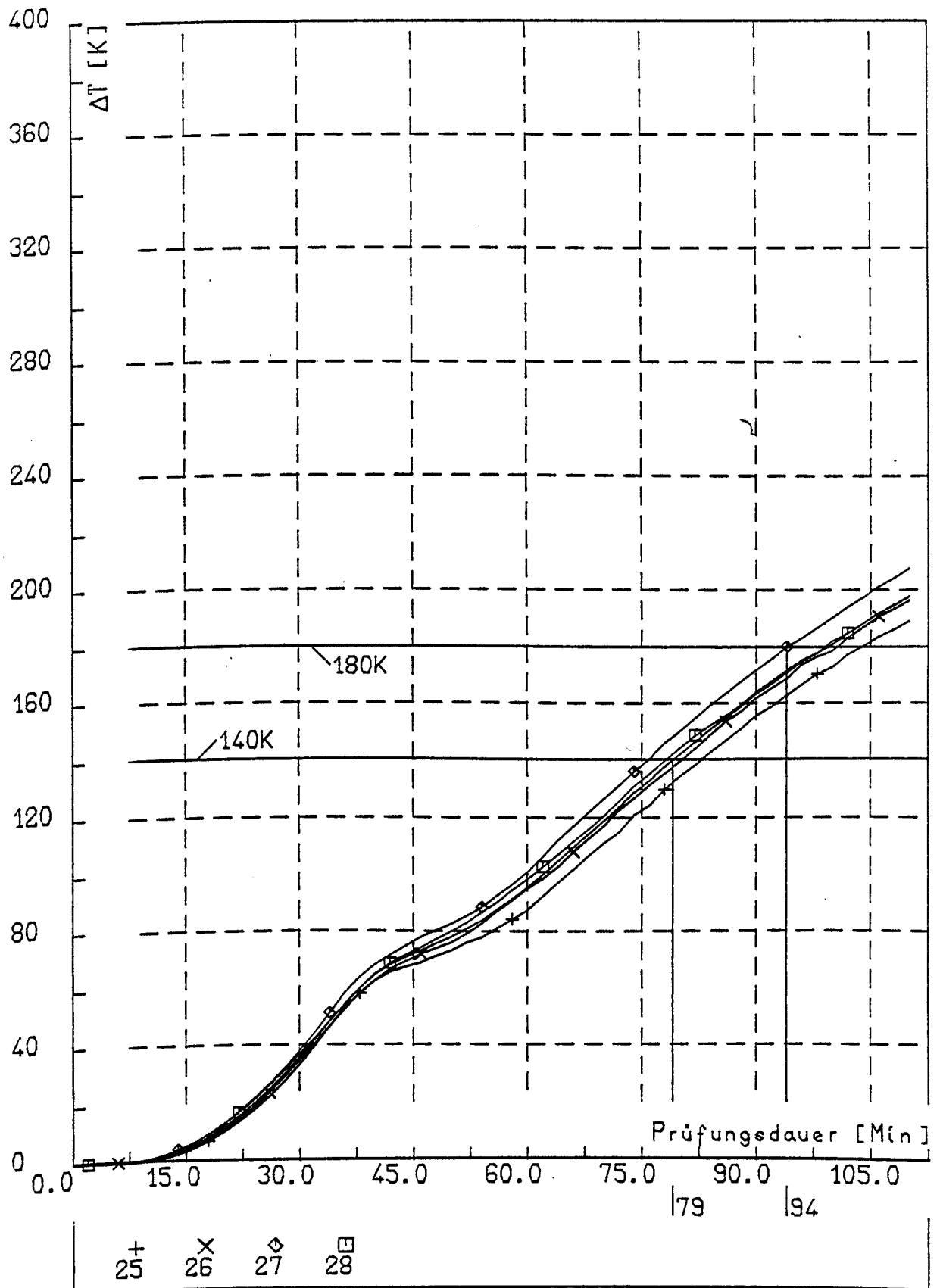
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.80

Versuch 11



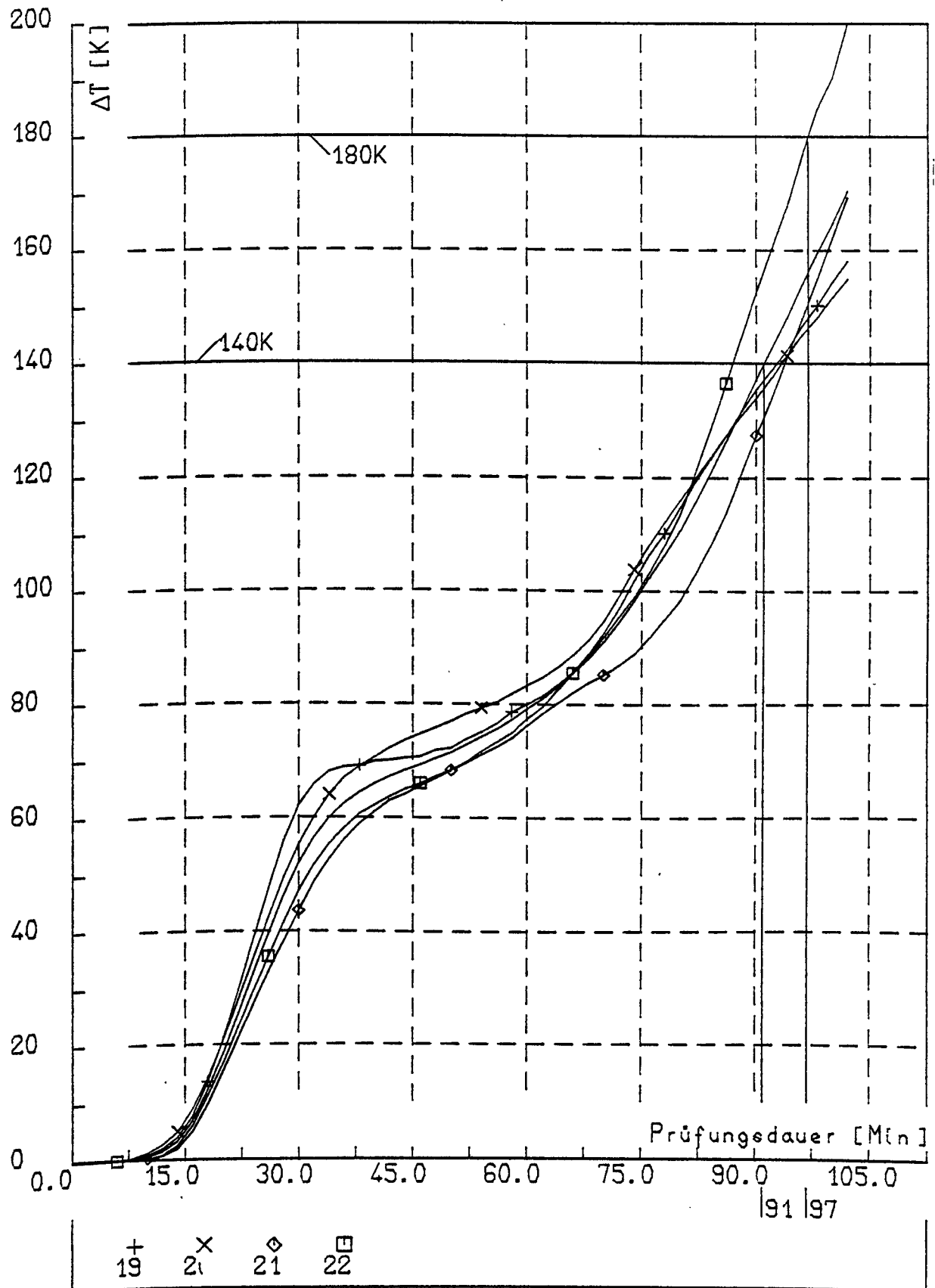
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.81

Temperaturmessungen an der Betonoberfläche Versuch 12



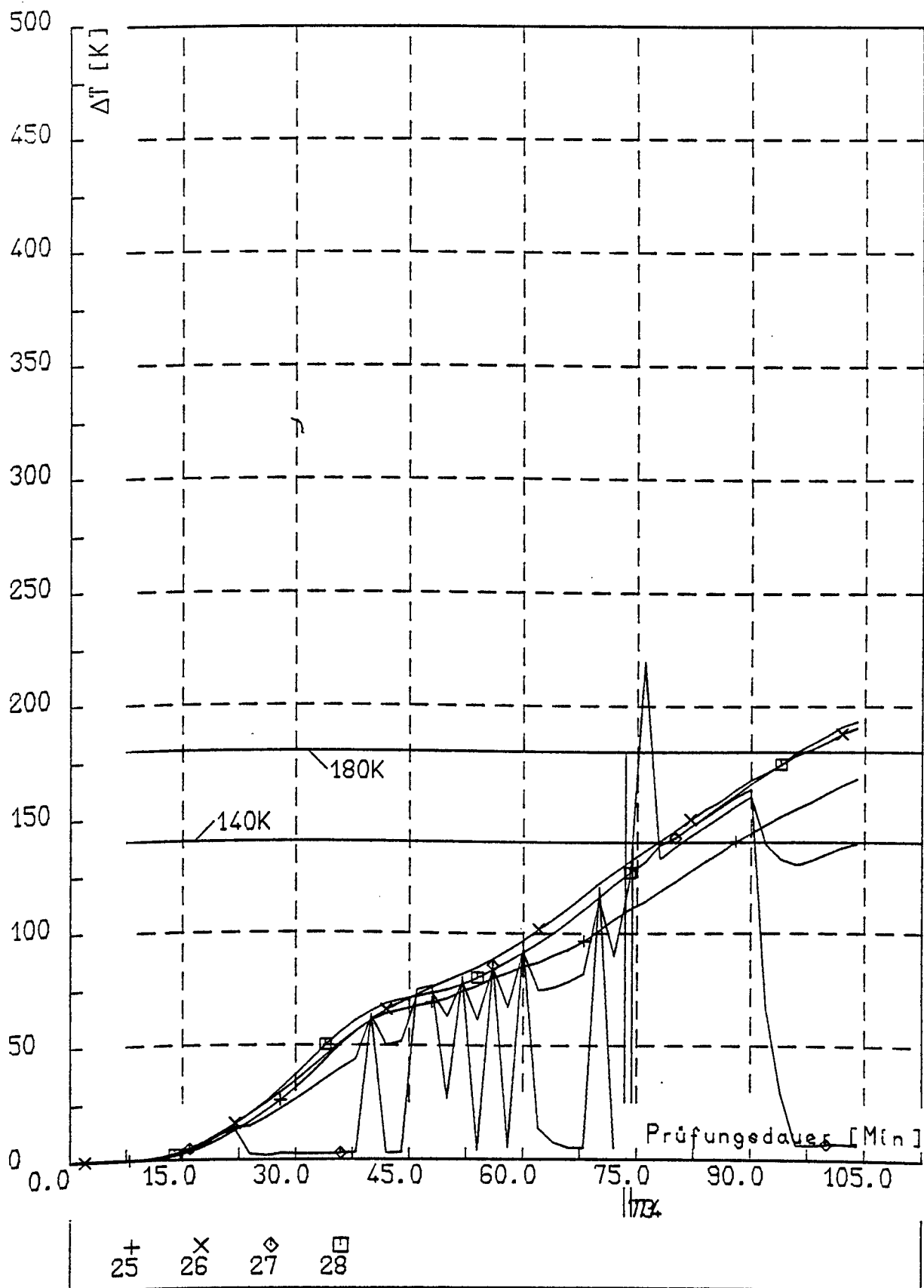
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.82

Versuch 13



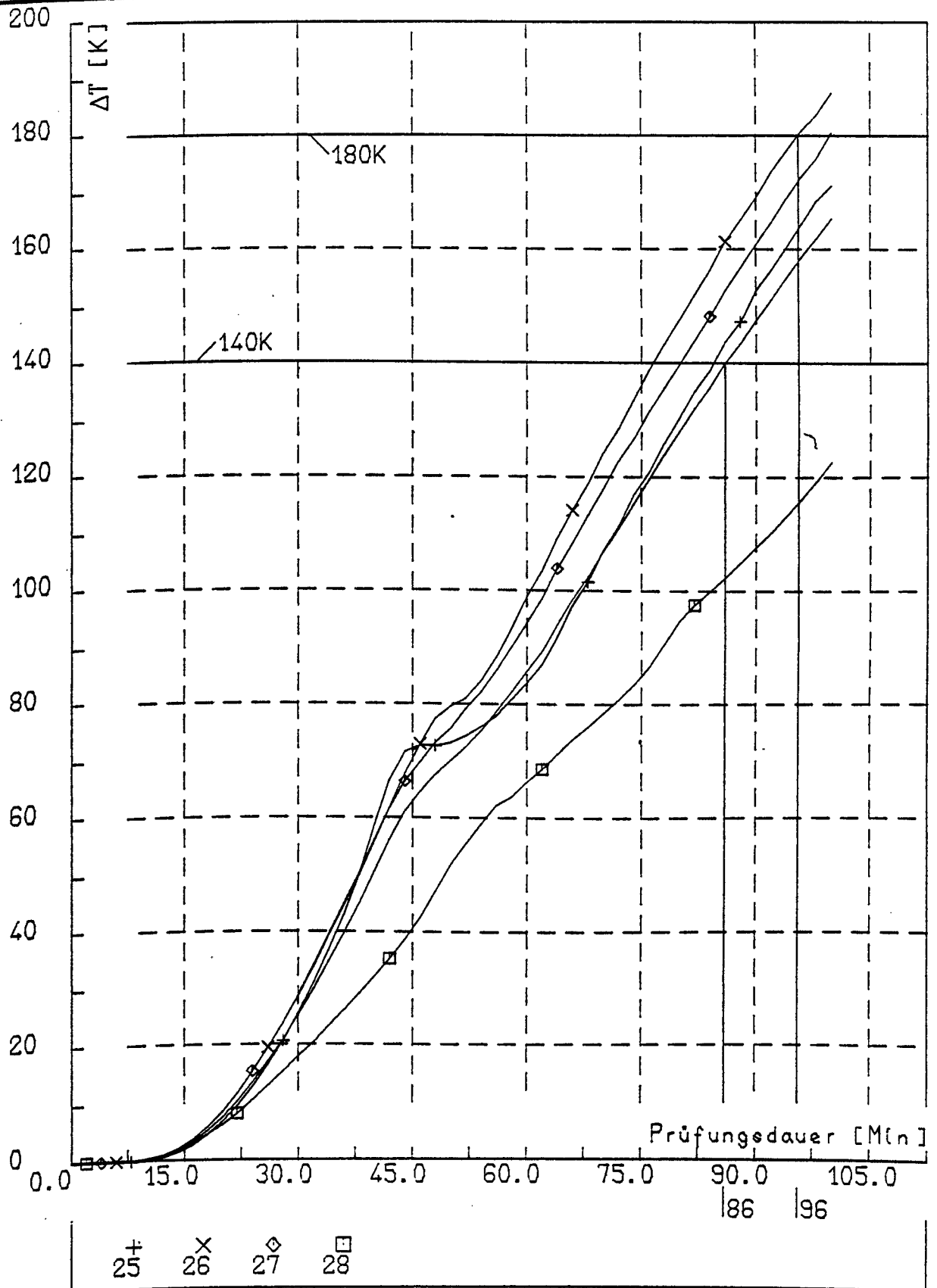
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.83

Versuch 14



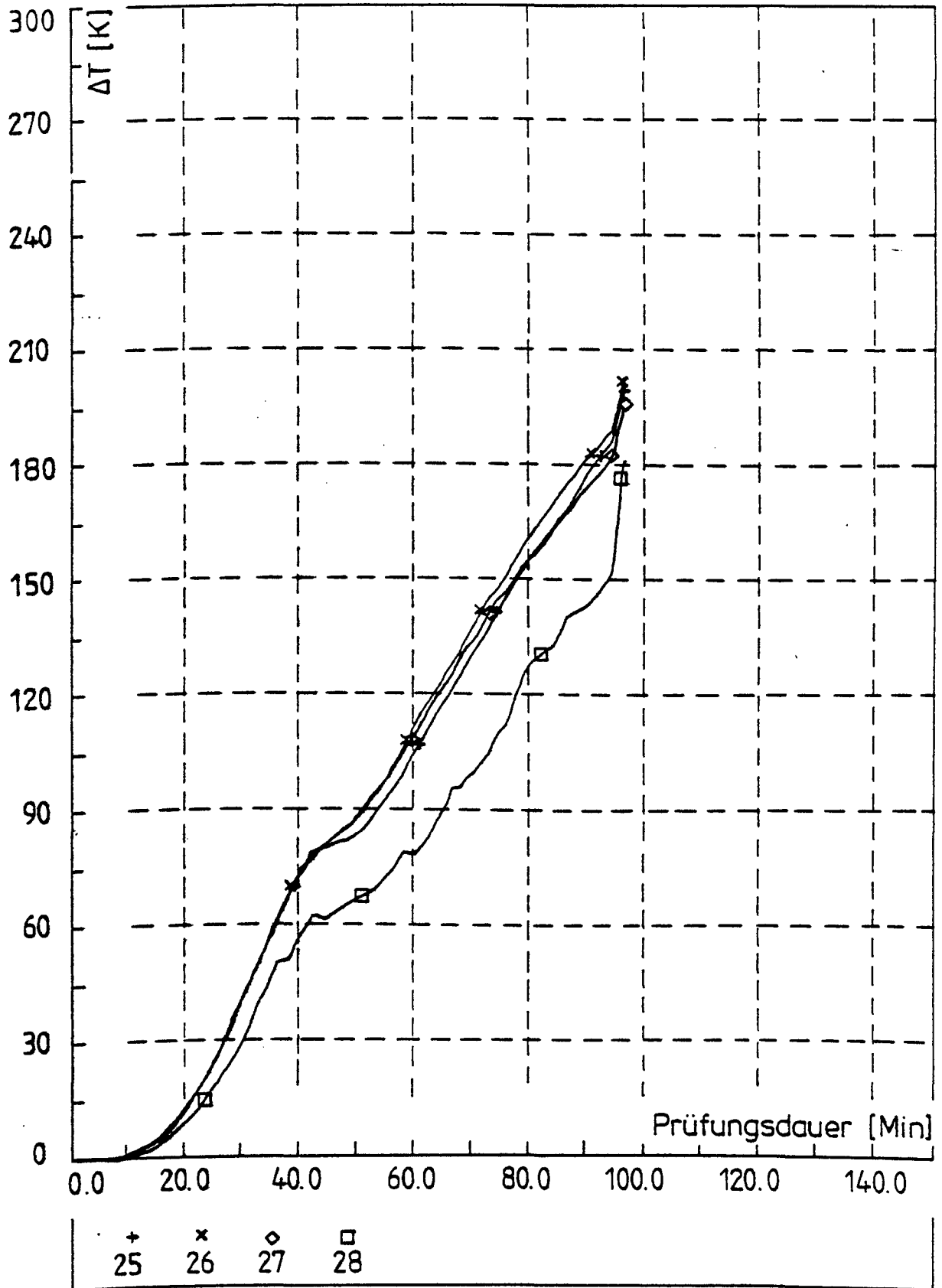
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.84

Versuch 15



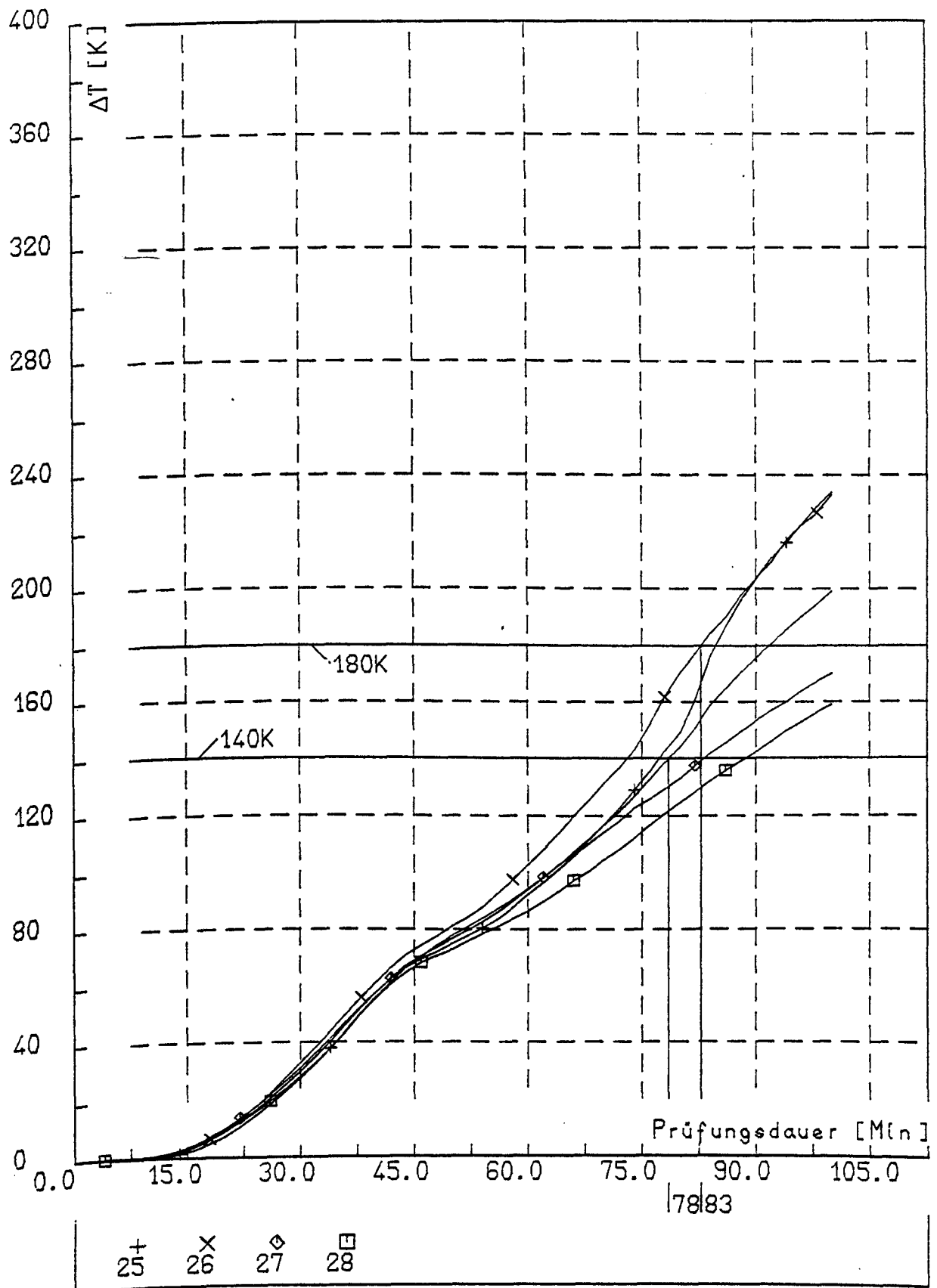
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.85

Versuch 16



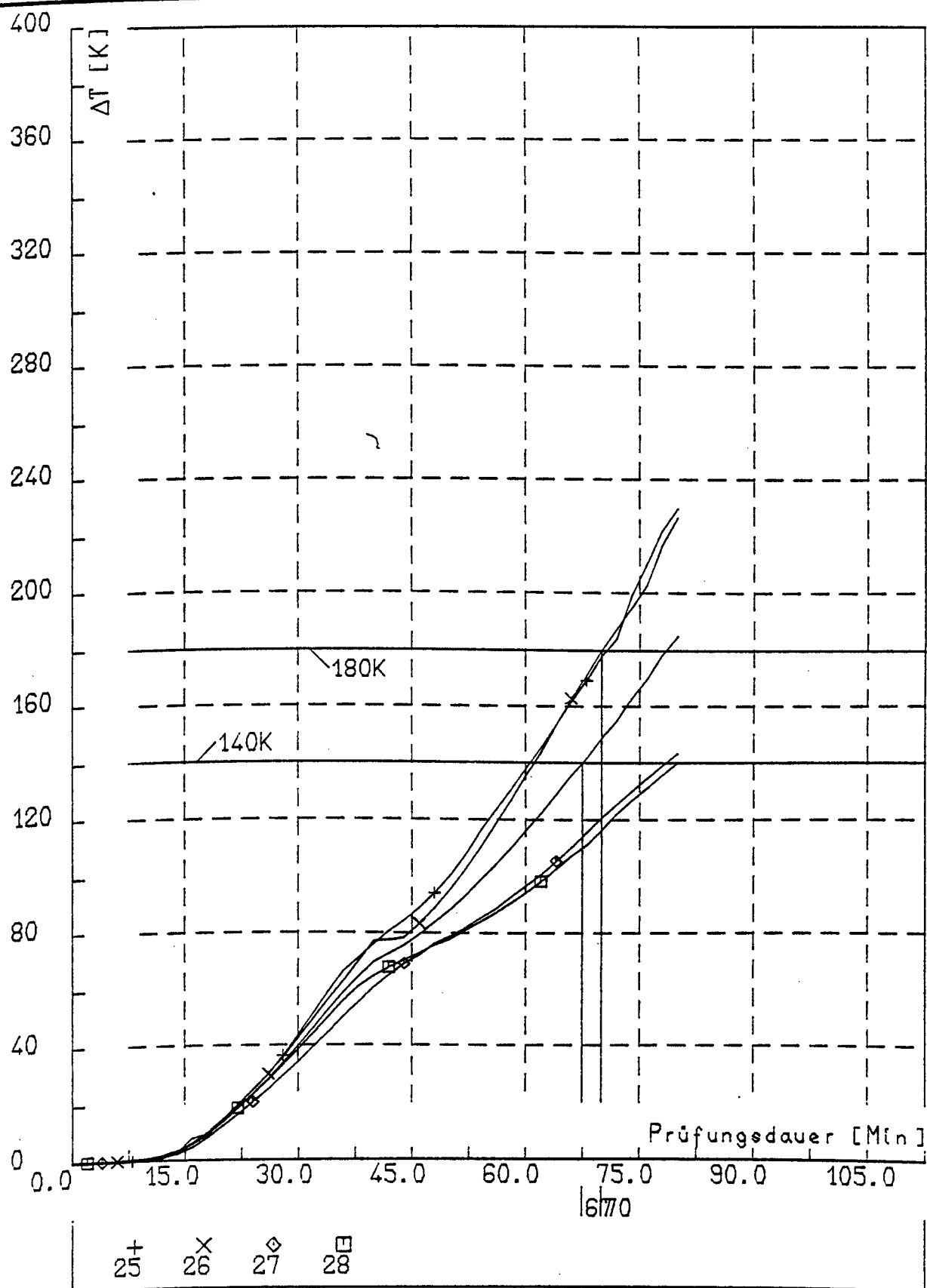
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.86

Versuch 17



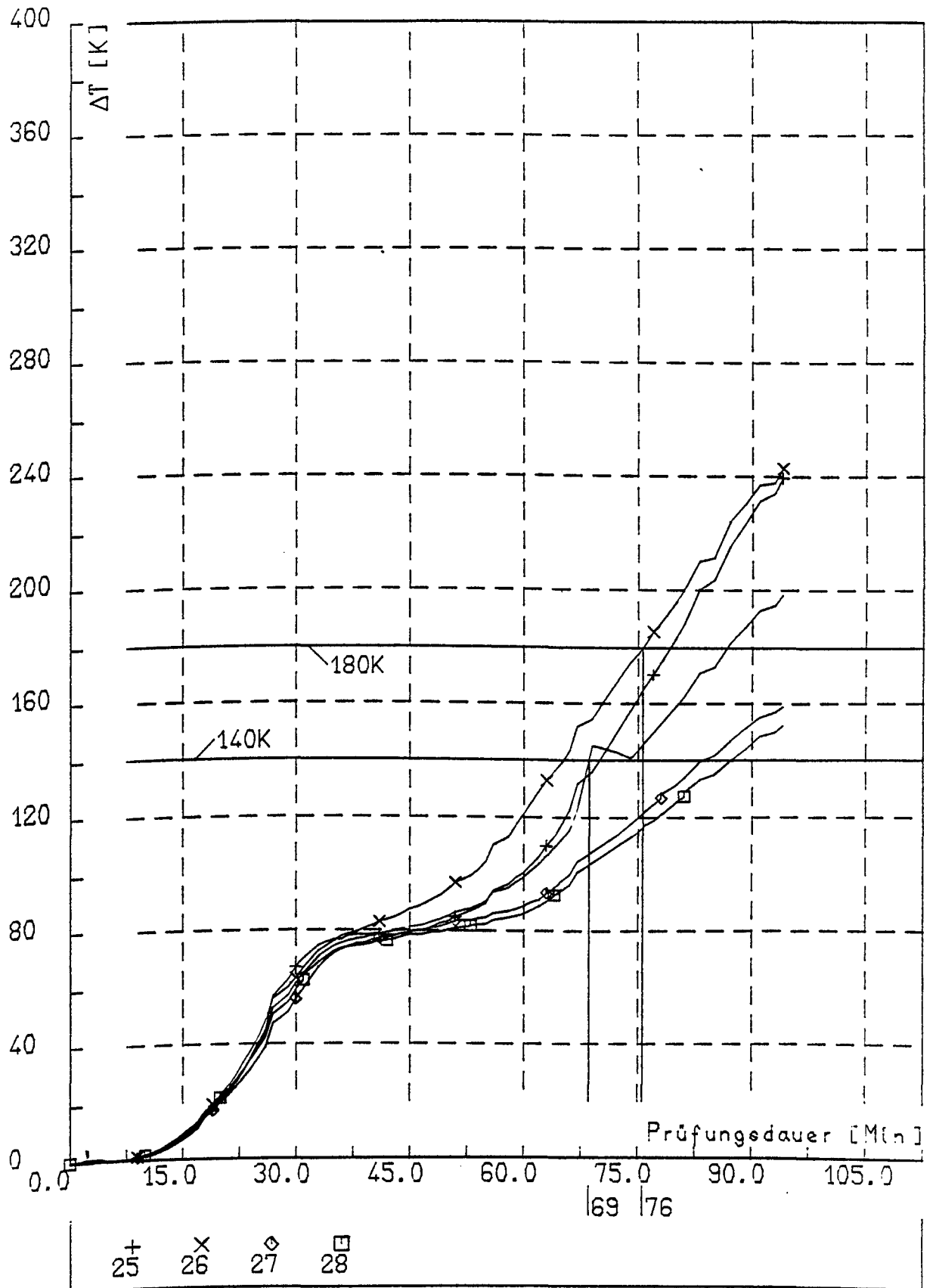
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.87

Versuch 18



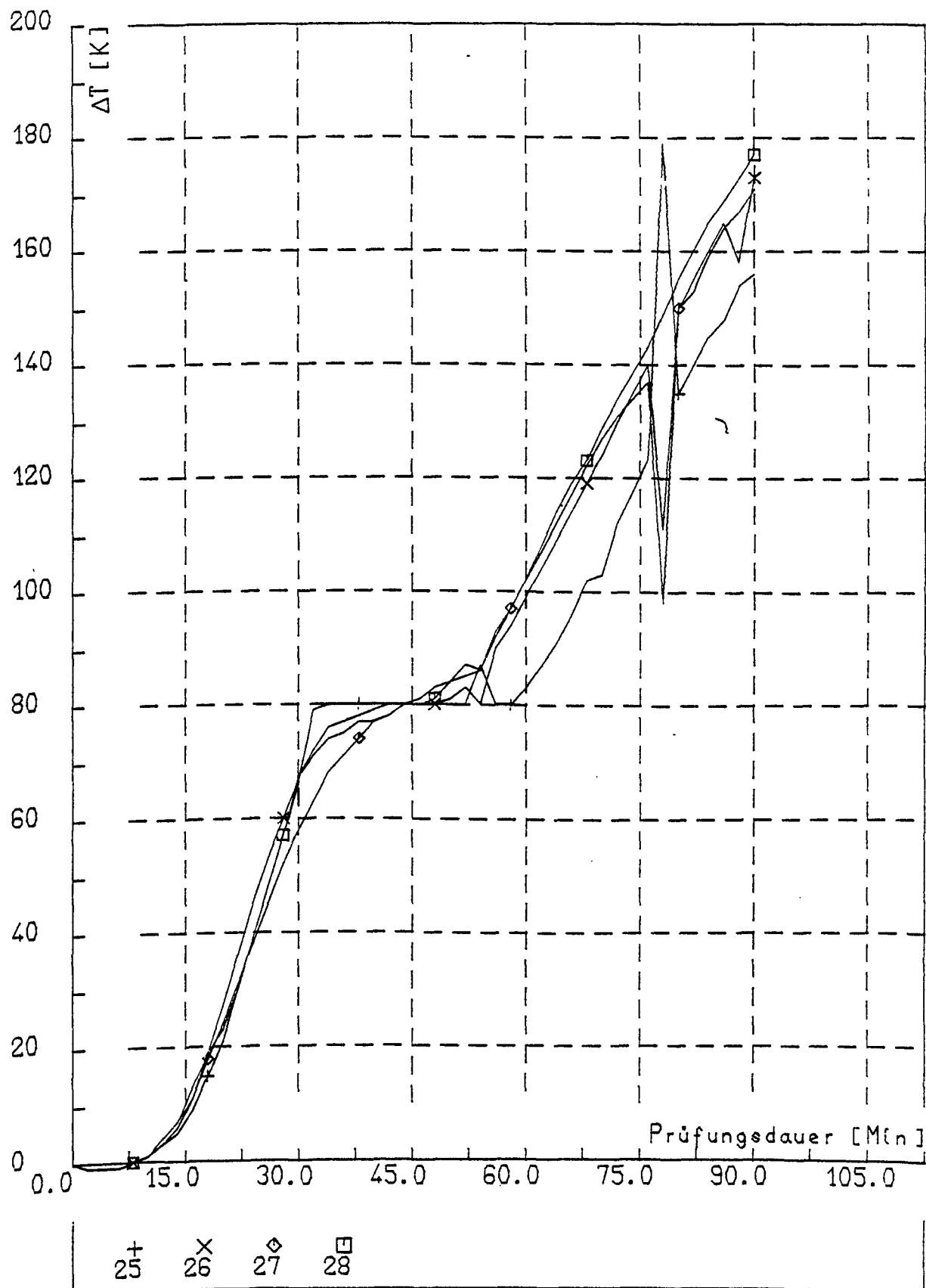
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.88

Versuch 19



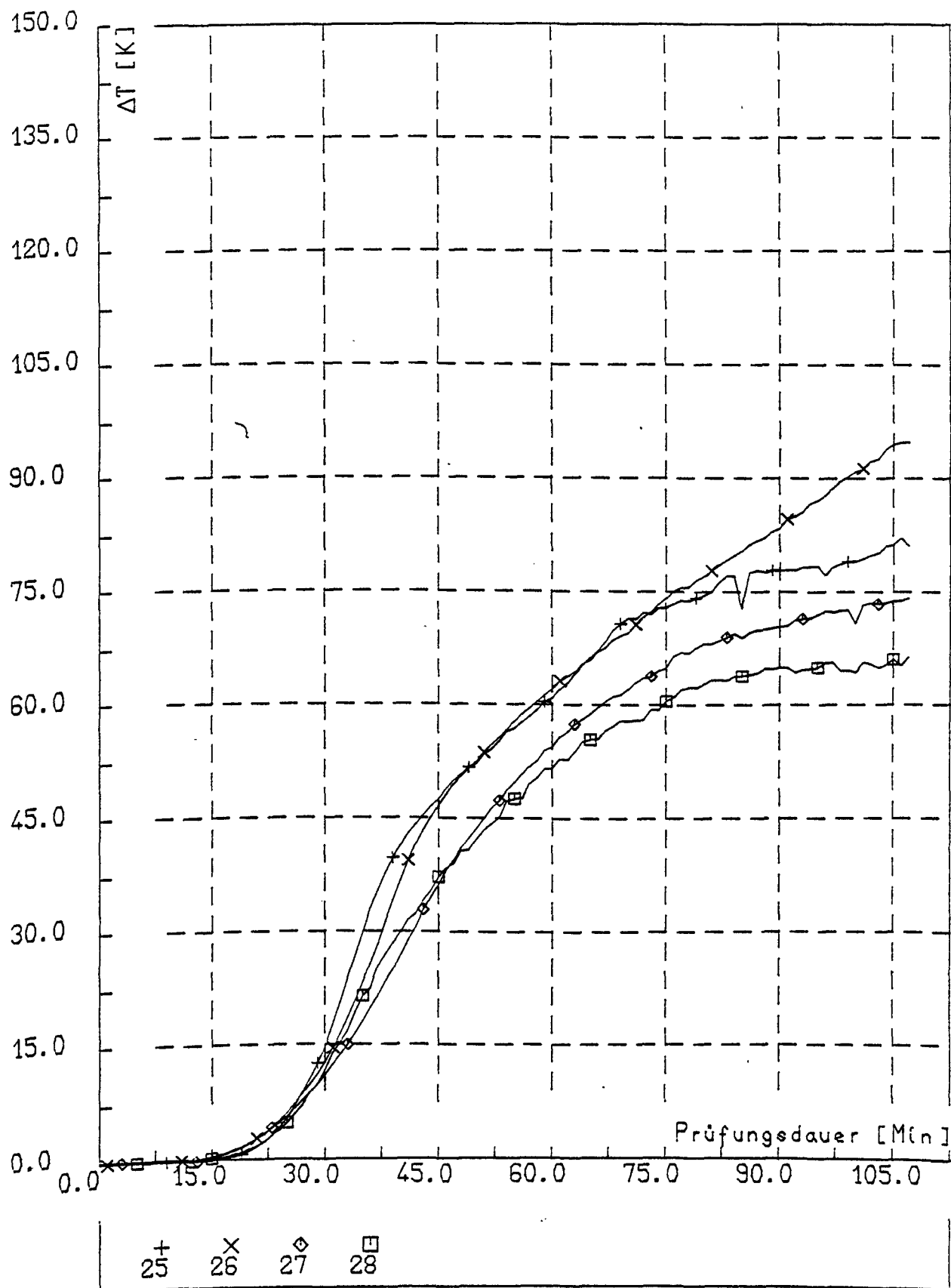
Dehn f u g e n , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.89

Versuch 20



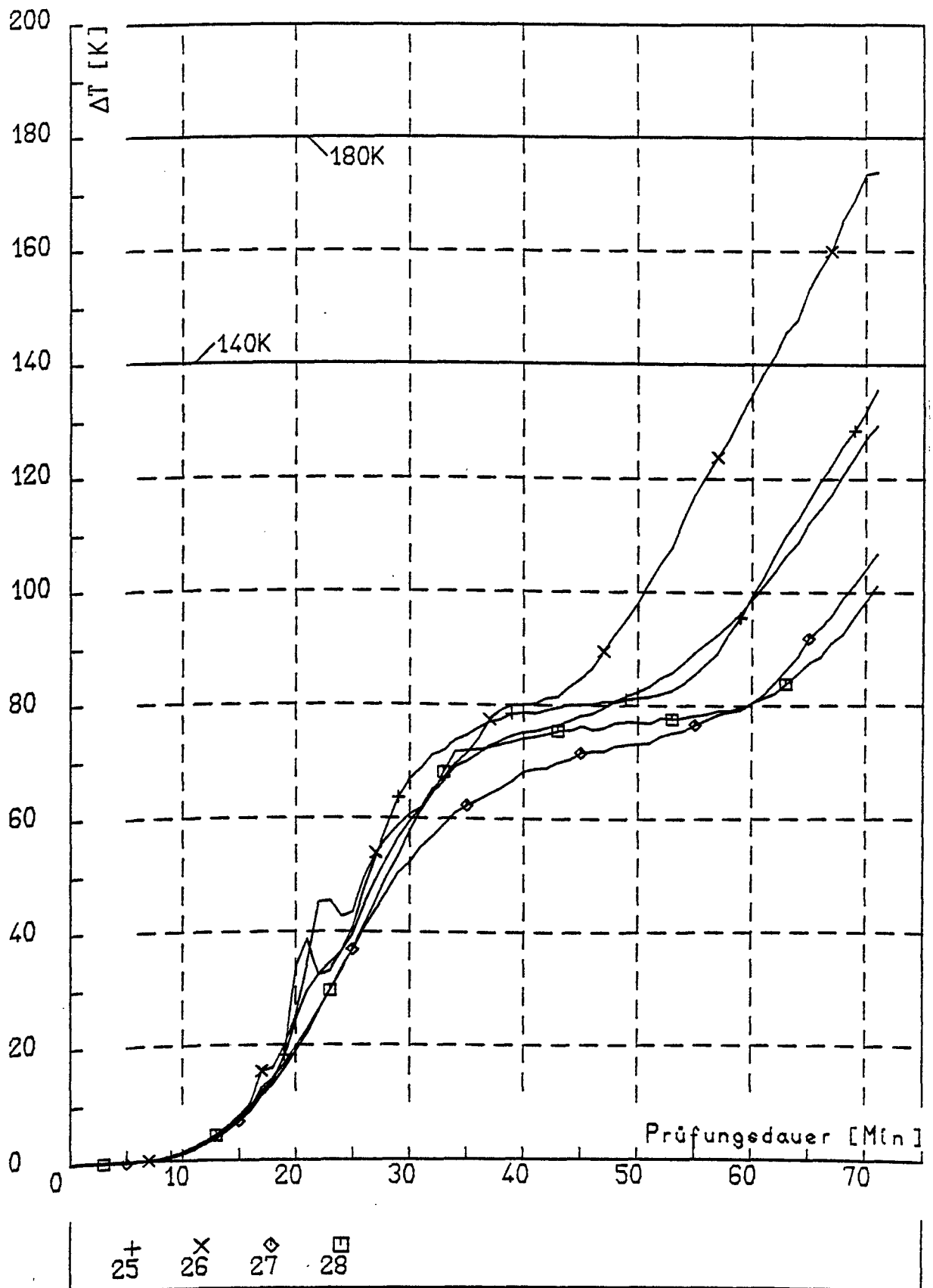
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.90

Versuch 21



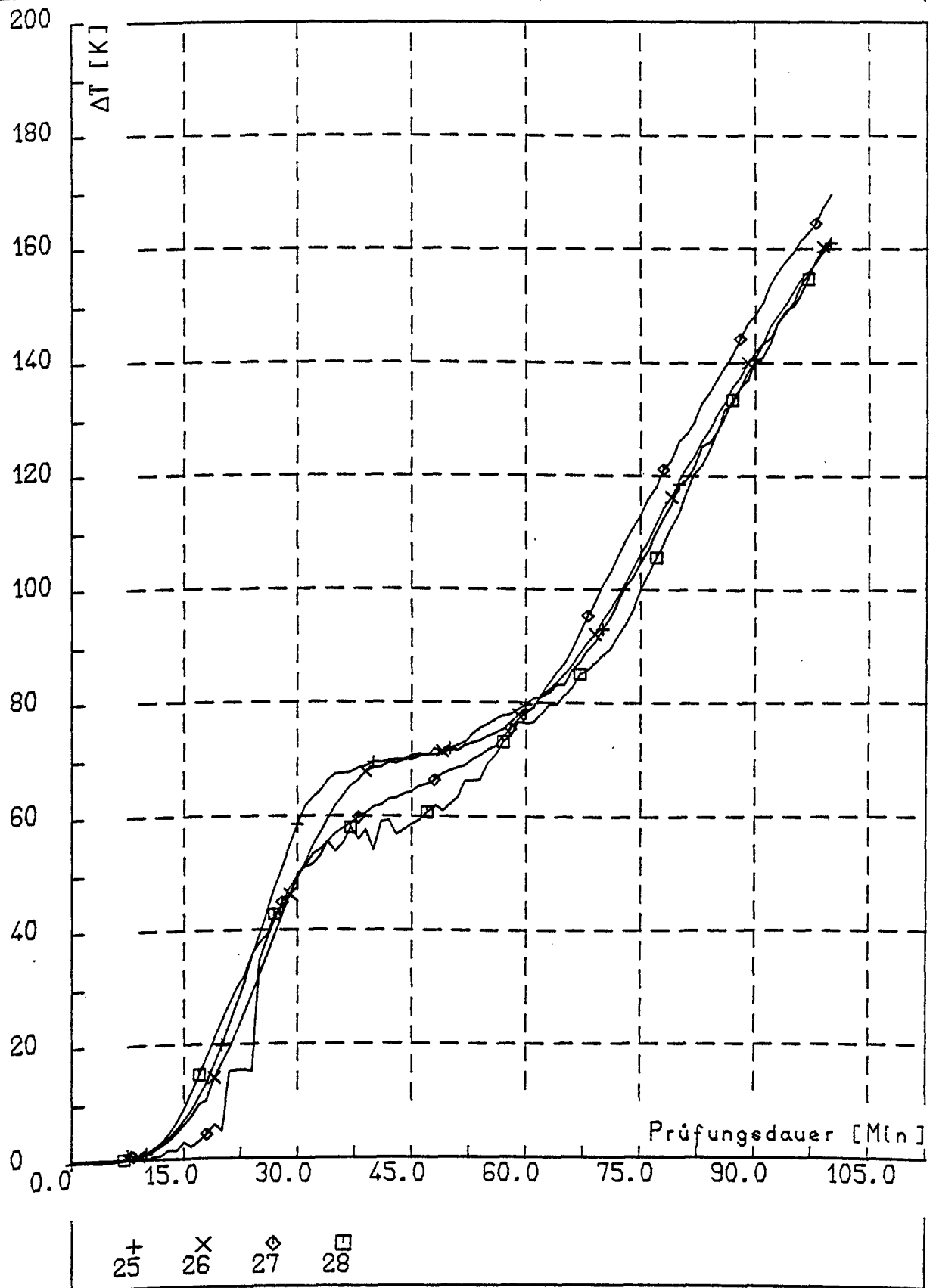
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.91

Versuch 22



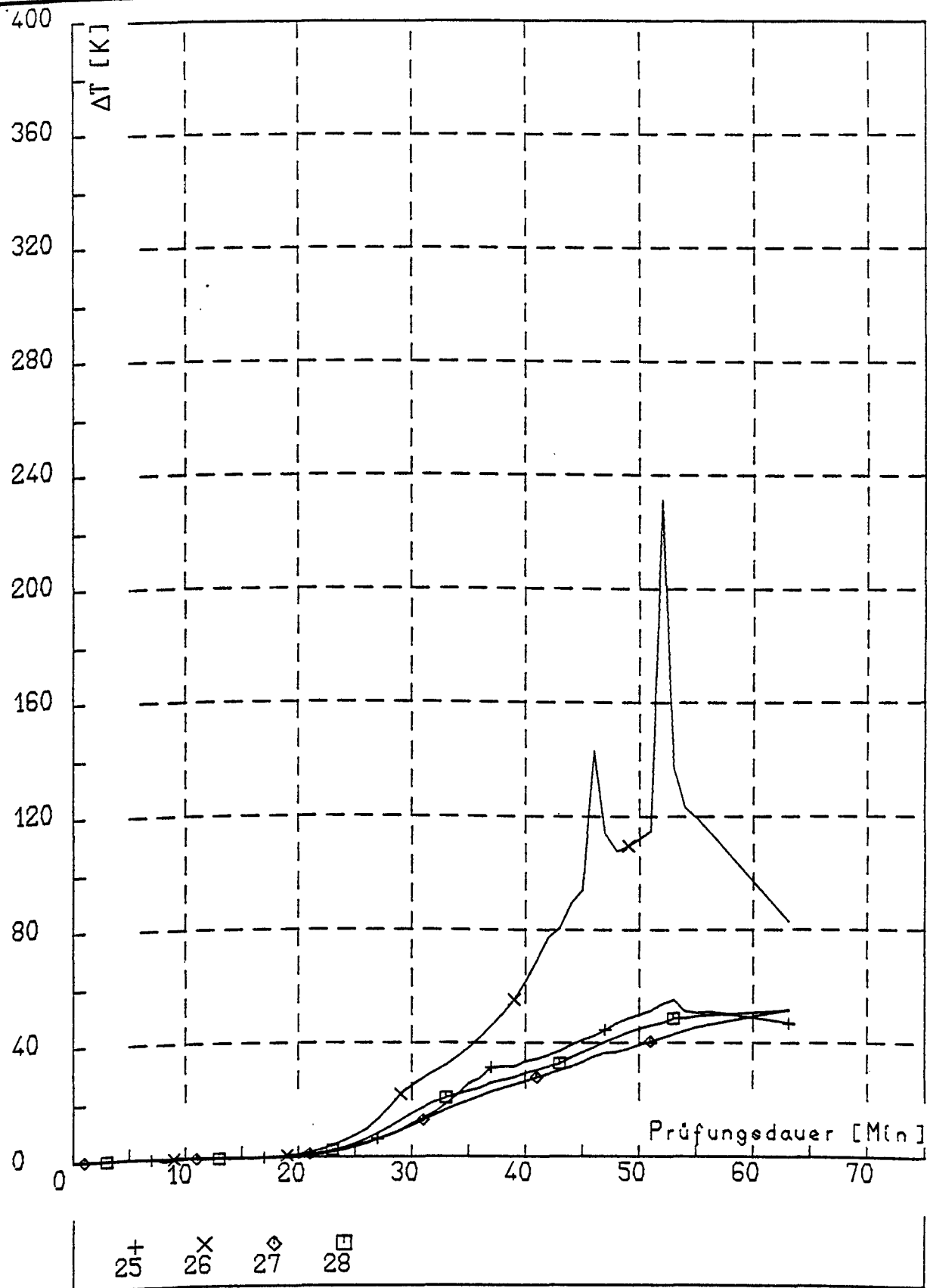
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.92

Versuch 23



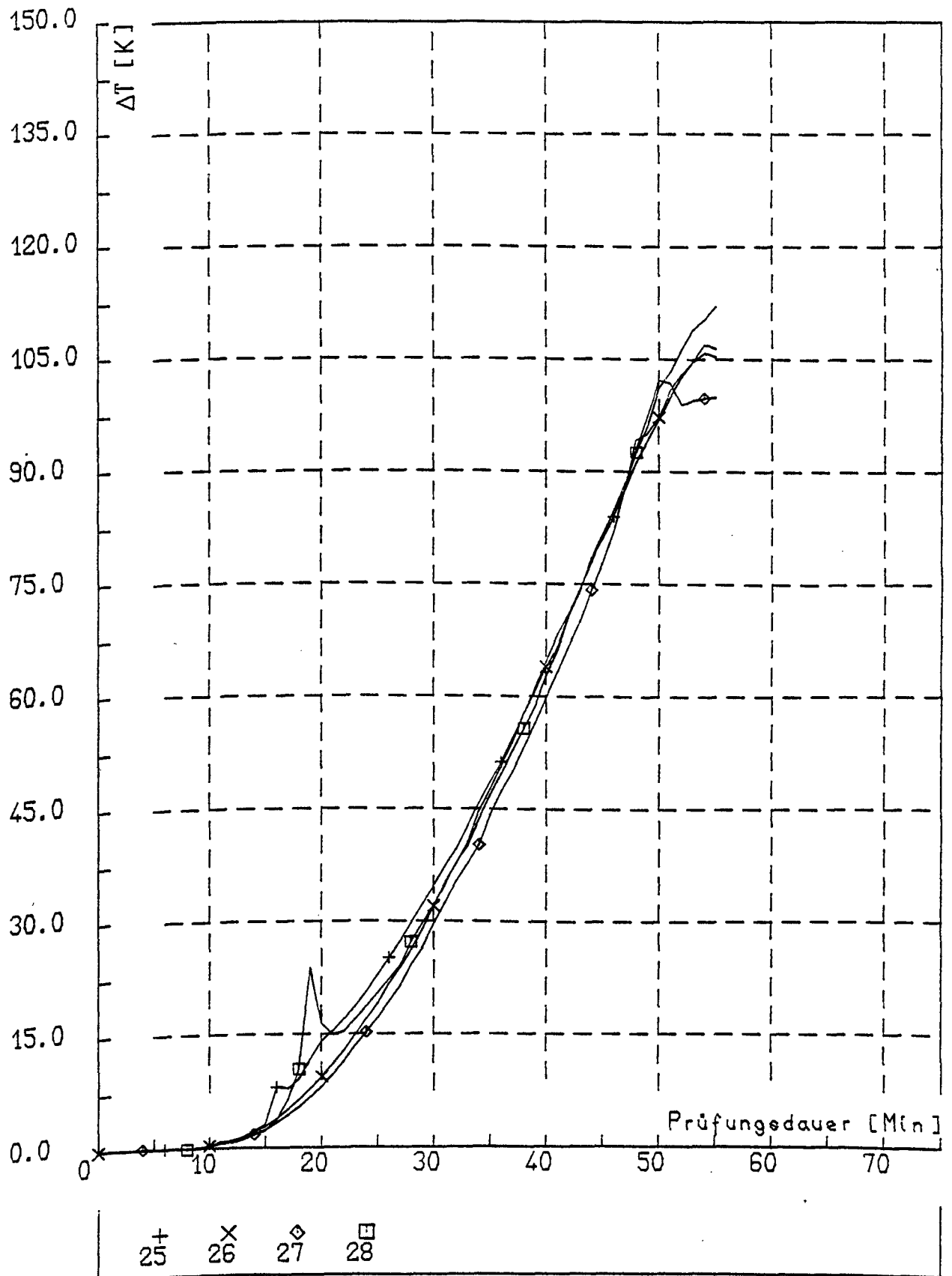
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.93

Versuch 24



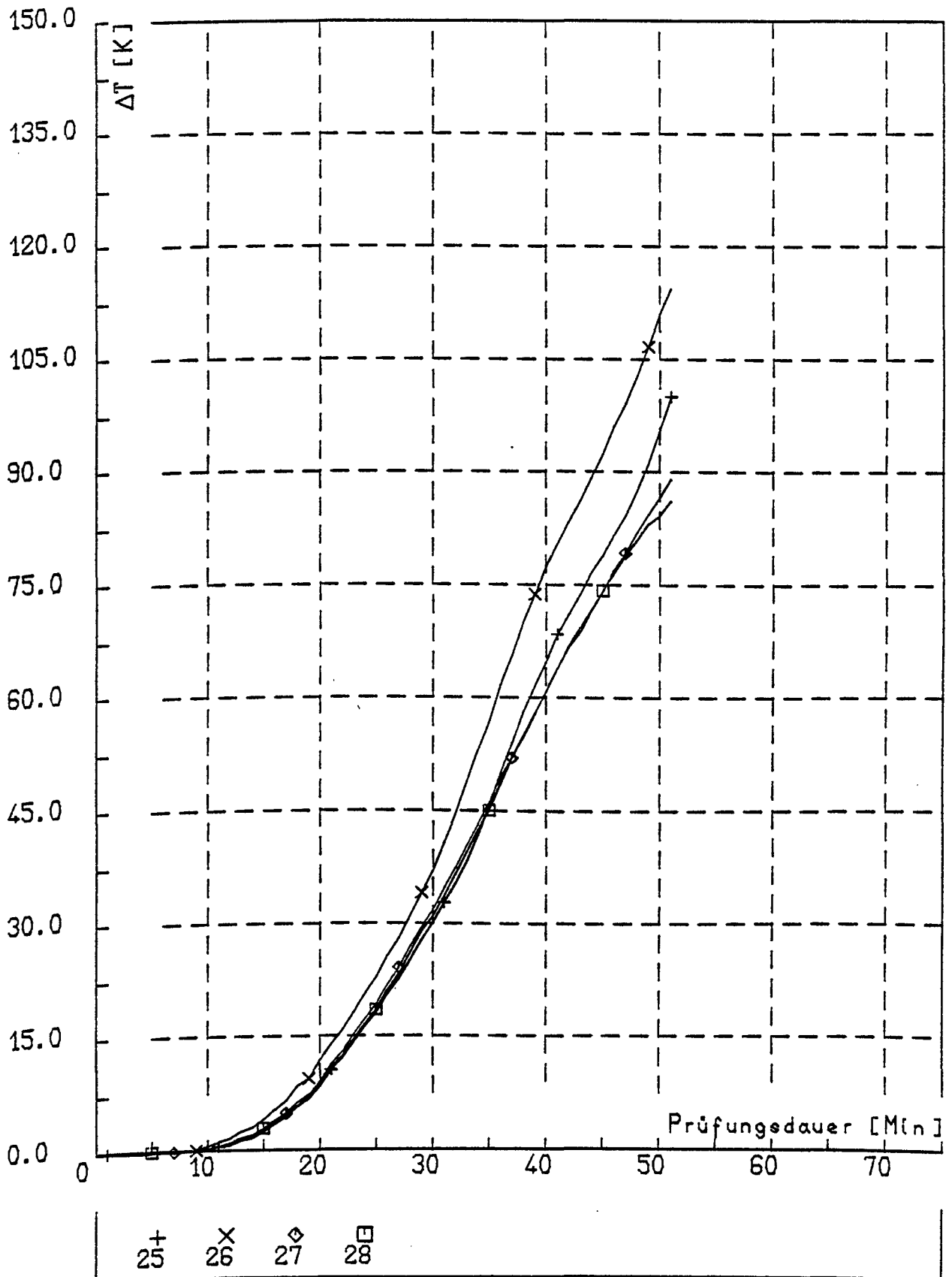
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.94

Versuch 25



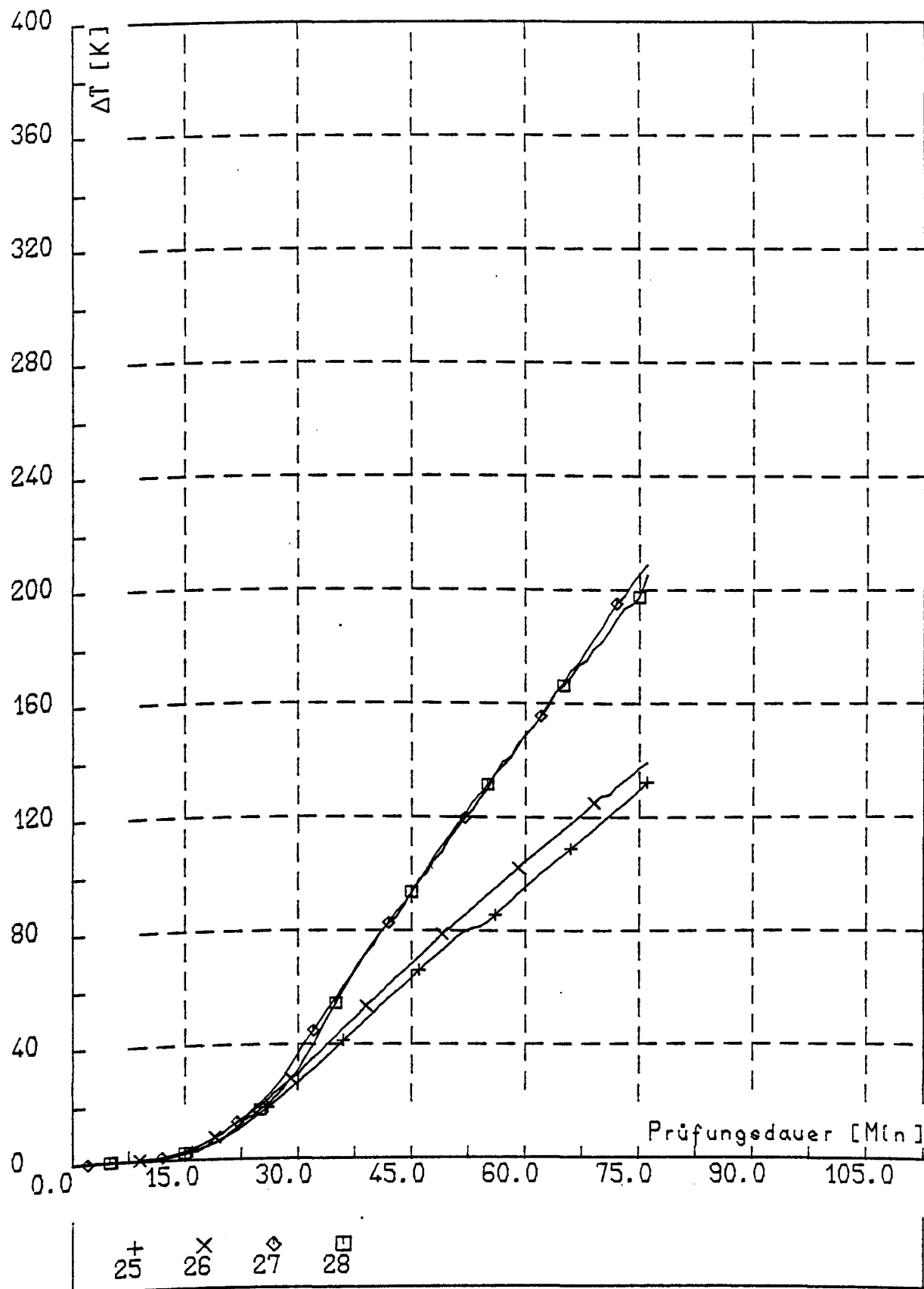
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.95

Versuch 26



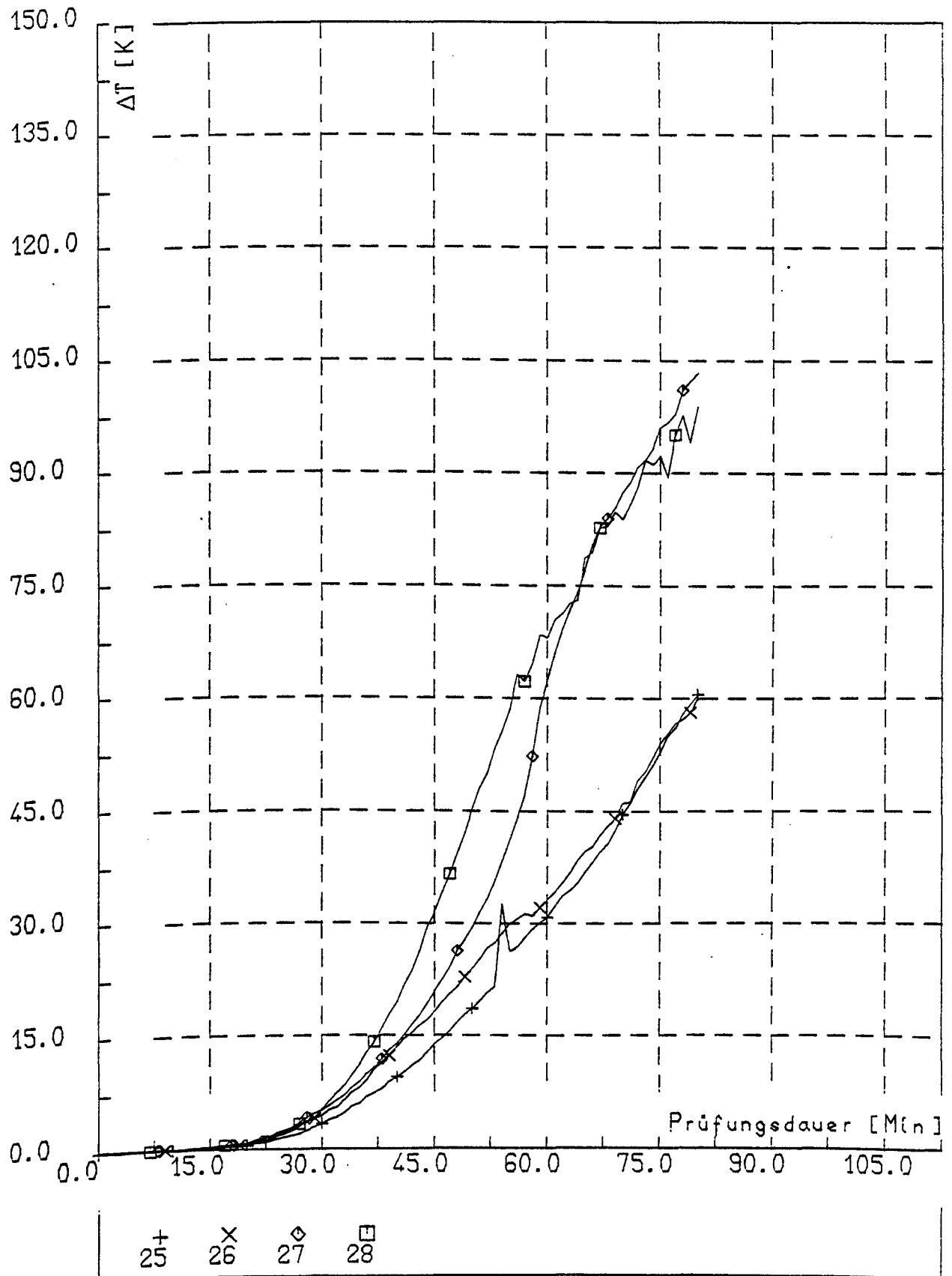
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.96

Versuch 27



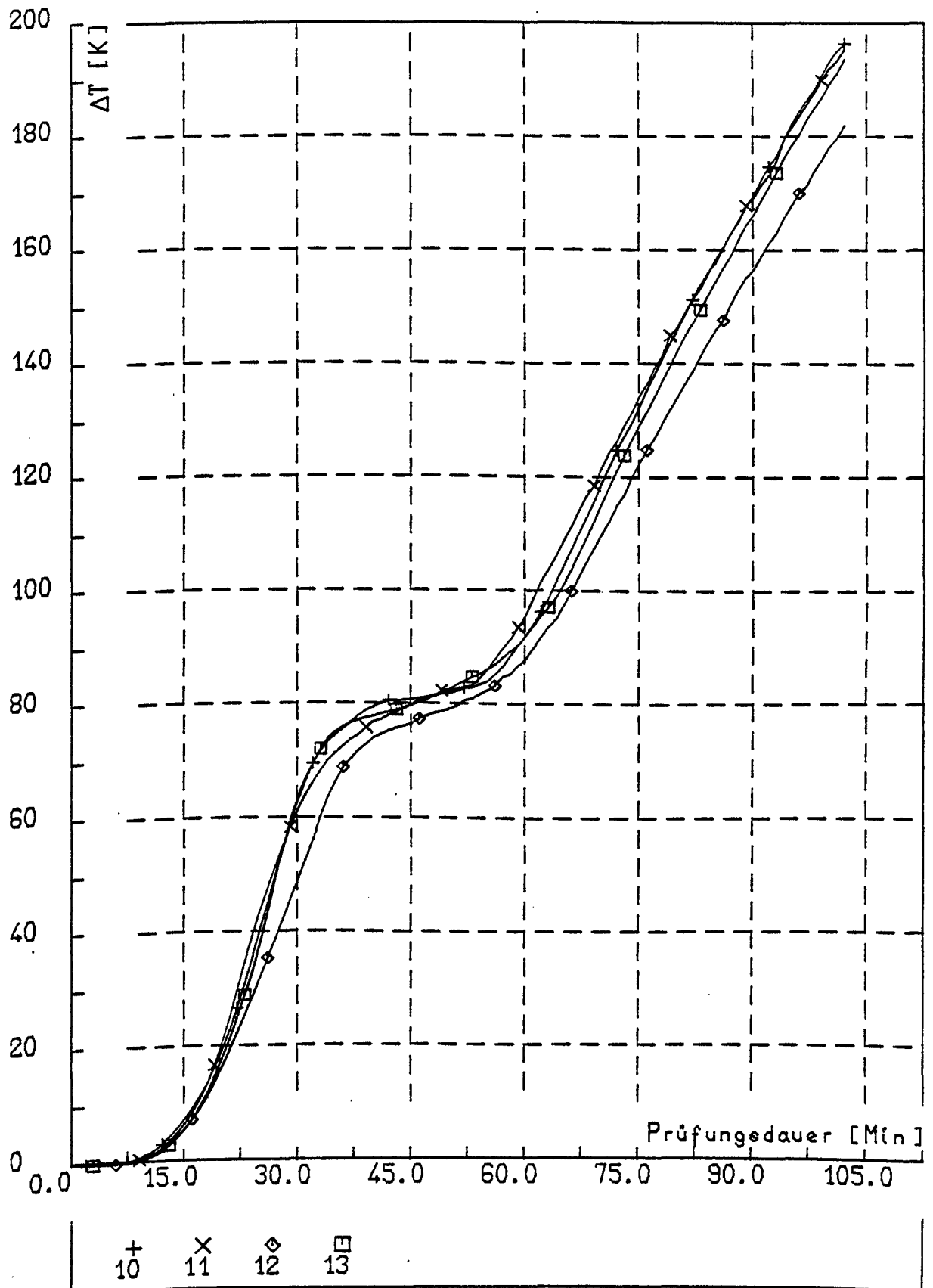
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.97

Versuch 28



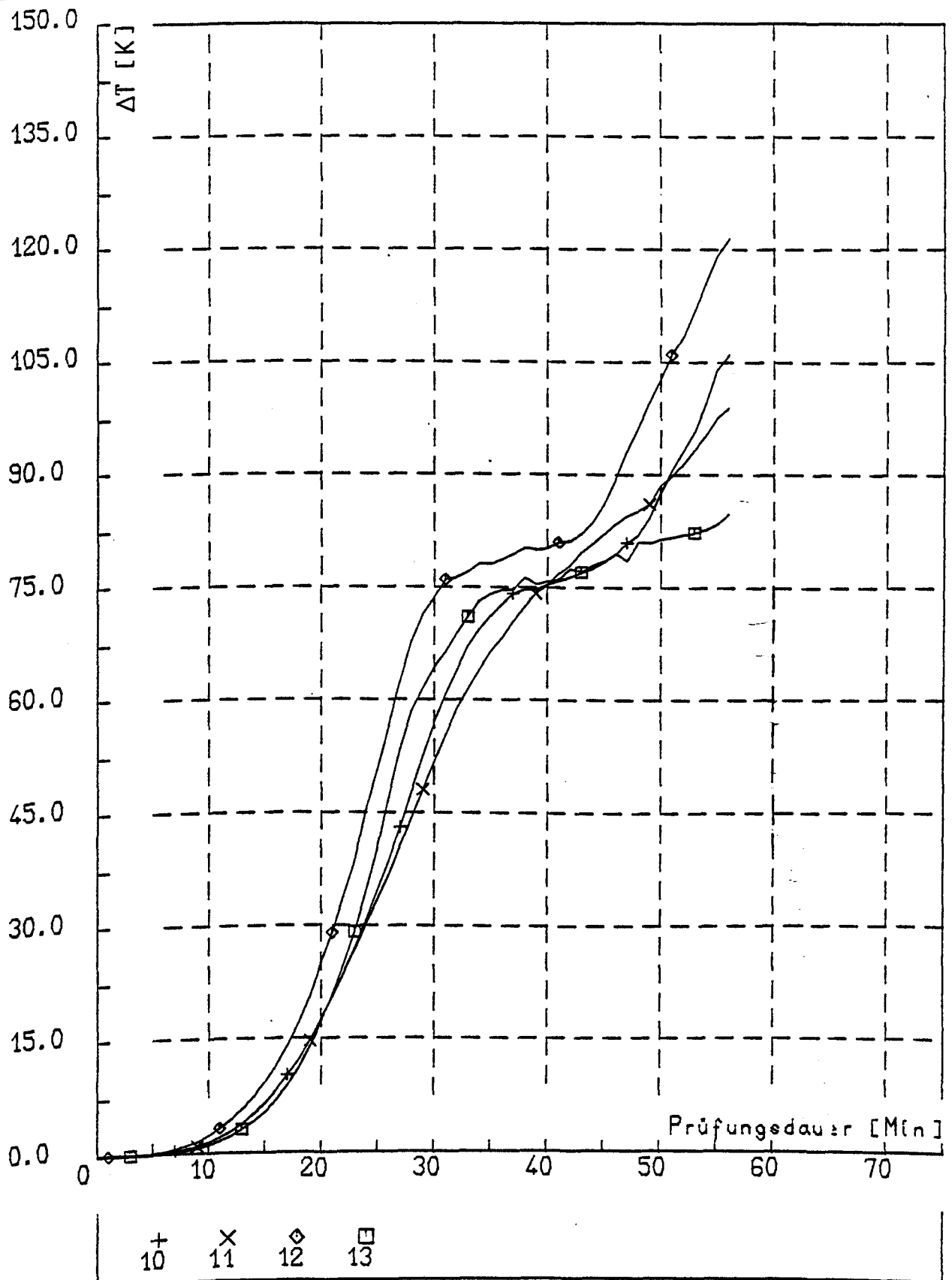
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.98

Versuch 29



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

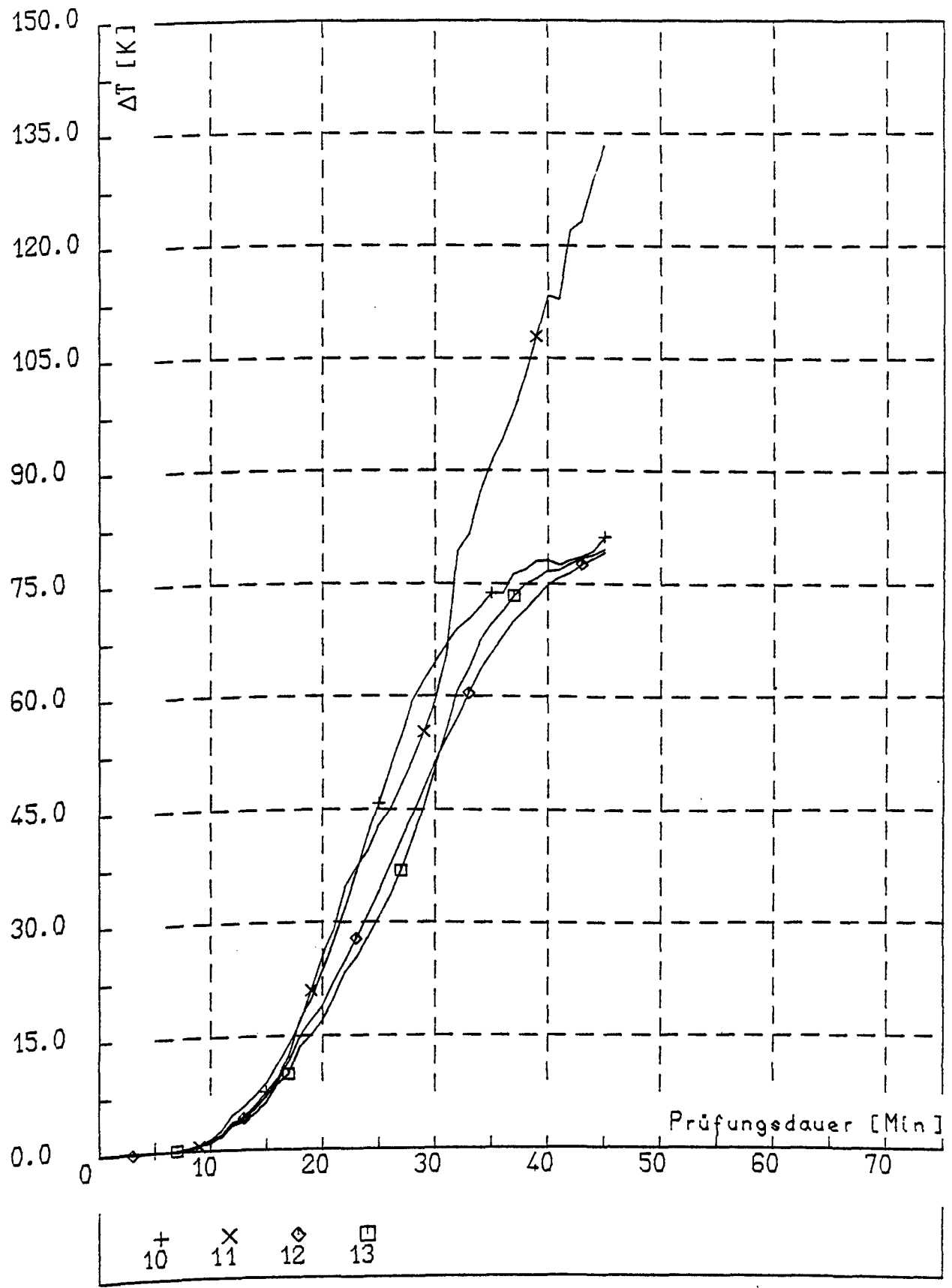
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.99

Temperaturmessungen an der Betonoberfläche

Versuch 30



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

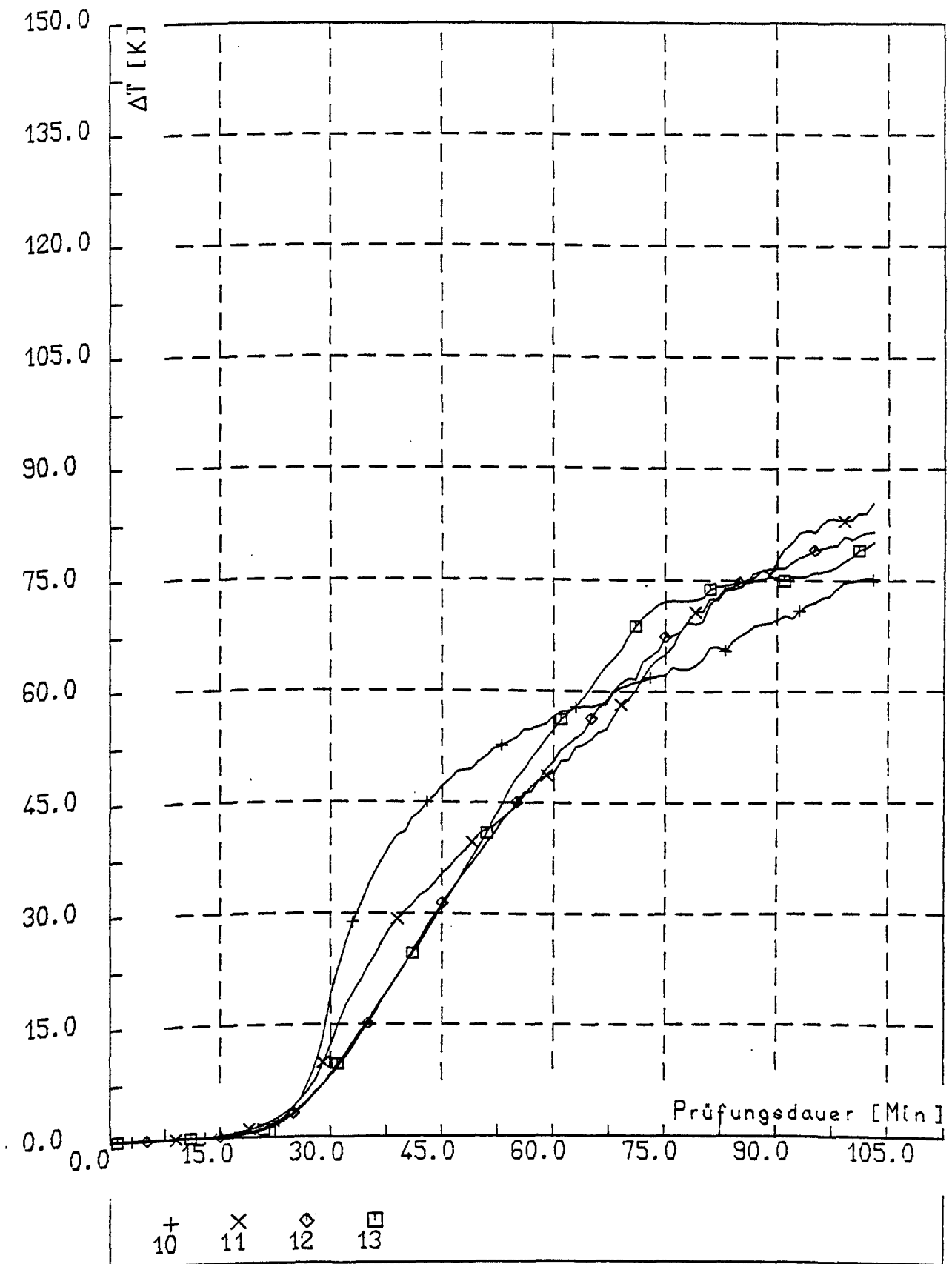
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.100

Temperaturmessungen an der Betonoberfläche

Versuch 31



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

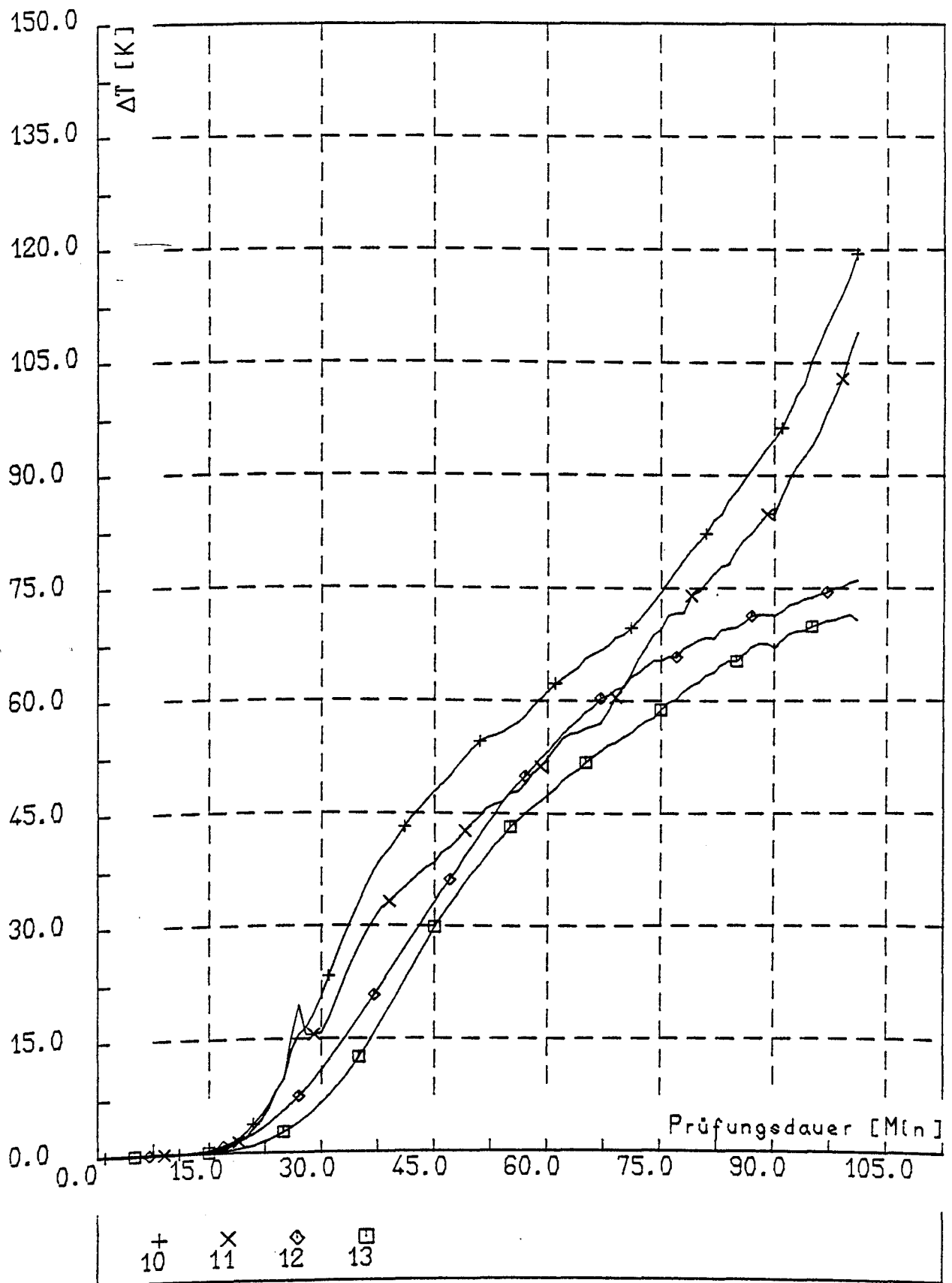
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.101

Versuch 32



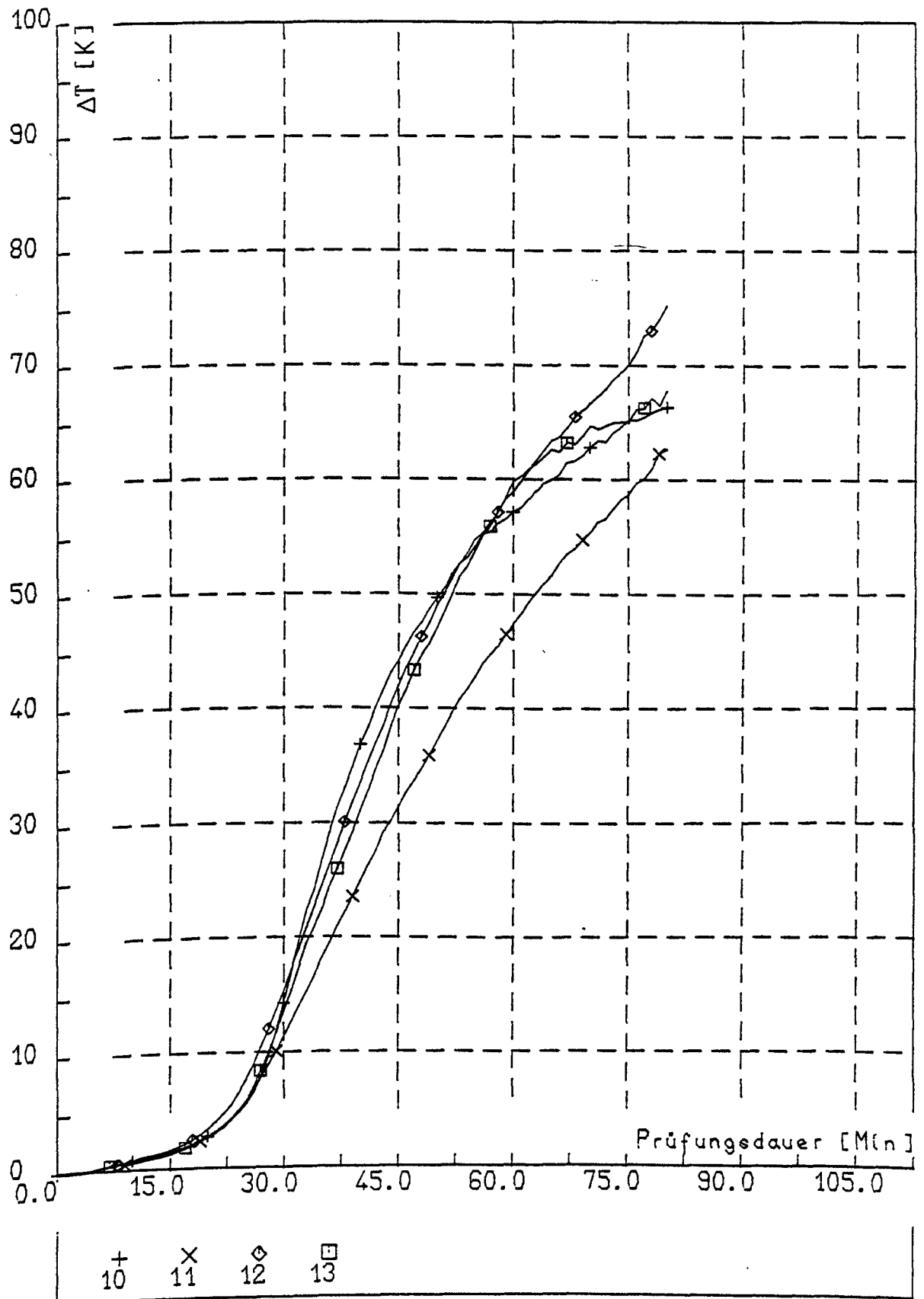
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.102

Versuch 33



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.103

Besondere Beobachtungen , Versuch 1

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 18 °C
28	Die Fugendichtungsmasse wölbt sich leicht nach oben.
55	Unter der Haut der Fugendichtungsmasse bilden sich kleine weiße Blasen.
58	Auf der Mitte der Stahlbetonbalken werden mit dem Wanderelement 95 °C gemessen.
59	Auf der Fugendichtungsmasse werden mit dem Wanderelement 55 °C gemessen.
61	Unter dem Stahldraht der Messeinrichtung werden mit dem Wanderelement ca. 40 °C gemessen.
81	Temperaturmessungen mit dem Wanderelement: 130 °C auf dem Beton, 60 °C auf der Fuge, 45 °C unter dem Stahldraht.
99	155 °C auf dem Beton.
100	Ende der Beflammung. ca. 5 min nach dem Versuchsabbruch beginnt die Fugendichtungsmasse leicht zu dampfen.
Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls	
Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.111	

Besondere Beobachtungen , Versuch 2

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
<p>0</p> <p>80</p> <p>90</p> <p>95</p>	<p>Anfangstemperatur = 19 °C.</p> <p>Aus der Fugendichtungsmasse tritt geringer hellgrauer Rauch aus.</p> <p>Der am Fugenrand <u>angehaltene</u> Wattebausch zeigt keine Verfärbung.</p> <p>Ende der Beflammung.</p>
<p>Dehnnugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II</p> <p>Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	
<p>Anlage 4.112</p>	

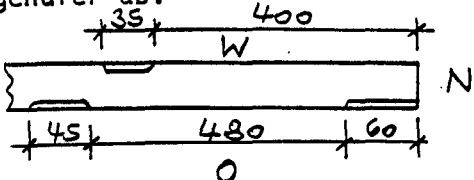
Besondere Beobachtungen , Versuch 3

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
<p>0</p> <p>15</p> <p>100</p>	<p>Anfangstemperatur = 23 °C.</p> <p>Aus der Fuge tritt Wasserdampf aus.</p> <p>Die Fuge ist noch auf ganzer Länge geschlossen und unverfärbt. Ende der Beflammung.</p>
<p>Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls</p> <p>Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	
<p>Teil II</p> <p>Anlage 4.113</p>	

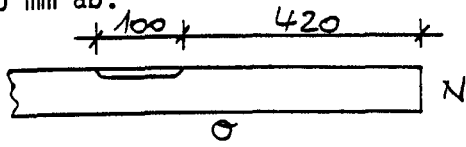
Besondere Beobachtungen , Versuch 4

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 23 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge am Beton.</p>
80	<p>Die Fugendichtungsmasse haftet immer noch auf ganzer Länge am Beton.</p>
103	<p>Ende der Beflammung.</p>
104	<p>Nach dem Aufziehen auf 60 mm löst sich die Dichtungsmasse auf ca. 300 mm Länge. Der Raumabschluß geht verloren und die Fuge beginnt durchzubrennen. Die Mineralwolle hat durch das Wiederaufziehen bis oben hin den Kontakt zum Fugenufer verloren und wird nur noch von der Fugendichtungsmasse am Abrutschen in den Ofen gehindert.</p>
<p>Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls</p>	
<p>Institut für Baustoffe , Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	
<p>Anlage</p>	
<p>4.114</p>	

Besondere Beobachtungen , Versuch 5

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 17 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Nach dem Aufziehen reißt die Fugendichtungsmasse an drei Stellen vom Fugenufer ab.</p>  <p>Die abgerissenen Stellen klaffen ca. 10 mm weit. Aus diesen Stellen tritt Rauch aus.</p> <p>Die Fugenufer reißen weiter auf (max 200 mm lang). Der Feuerschein wird in den Abrissen auf ca. 1 mm Breite sichtbar.</p> <p>Mit dem Wanderelement werden max 70 °C gemessen.</p> <p>Das westliche Fugenufer ist jetzt auf 2/3 der Länge abgerissen.</p> <p>Der Verdrehungswinkel beträgt 5,9 Grad.</p> <p>Mit dem Wanderelement werden max 235 °C gemessen.</p> <p>Wattebauschtest negativ.</p> <p>Ende der Beflammung.</p>
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.115	

Besondere Beobachtungen , Versuch 6

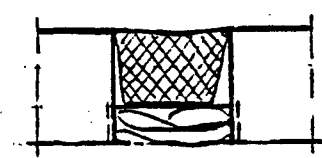
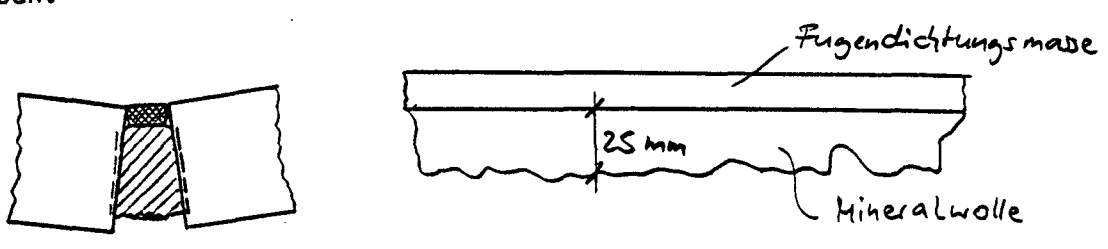
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 15 °c Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
32	Die Dichtungsmasse reißt vom westlichen Fugenufer auf einer Länge von 100 mm ab. 
38	Der Riß ist jetzt 180 mm lang und 8 mm breit. Temperatur über dem Riß ca. 100 °C.
51	Das östliche Fugenufer reißt an mehreren Stellen ab.
60	über den abgerissenen Stellen werden 80 - 100 °C gemessen.
67	Mit dem Wanderelement werden max 160 °C gemessen. Der Feuerschein wird auf ca. 50 mm Länge sichtbar.
75	Mit dem Wanderelement werden max 250 °C gemessen. Das östliche Fugenufer ist auf halber Länge abgerissen. Starke hellgraue Rauchentwicklung (wahrscheinlich entzündbar).
83	Mit dem Wanderelement werden maximal 320 °C gemessen.
90	Über den abgerissenen Stellen werden 270 - 320 °C gemessen
100	Ende der Beflammung.

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.116

Besondere Beobachtungen , Versuch 7

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 19 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 20 mm aufgezogen. Nach dem Aufziehen hat sich die Fugendichtungsmasse unter der Oberfläche an mehreren Stellen vom Fugenufer abgelöst. Im unteren Bereich ist fast auf ganzer Länge kein Verbund vorhanden.</p> 
25	Die Fugendichtungsmasse ist vom östlichen Fugenufer fast vollständig abgerissen. Aus den Rissen tritt Wasserdampf aus. Die Mineralwolle klebt auf ganzer Länge an den Balken.
61	Die Mineralwolle schließt die Fuge noch immer auf ganzer Länge ab. Mit dem Wanderelement werden 80 - 100 °C gemessen.
70	Aus der Fuge tritt nur noch ganz wenig Wasserdampf aus.
82	Die Mineralwolle glüht. Ober der Glut werden max 135 °C gemessen.
87	Keine Glut mehr.
92	Die Mineralwolle glüht wieder. Es werden max 135 °C gemessen. Es steigt Rauch auf.
95	Der über der Glut angehaltene Wattebausch zündet nicht.
100	Mit dem Wanderelement werden max 195 °C gemessen.
102	<p>Ende der Beflammung.</p> <p>Die Klebeflächen der Mineralwolle haben gehalten. Dadurch hat sich die Wolle unten auseinandergezogen. Beim Versuch die obere Versiegelung aus der Fuge zu ziehen, bleibt Mineralwolle fest daran kleben.</p> 

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.117

Besondere Beobachtungen , Versuch 8

Versuchsdauer
[min]

Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite

0

Anfangstemperatur = 19 °C

Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Nach dem Aufziehen ist die Fuge auf ganzer Länge dicht.

22

Aus der Fuge tritt gering Wasserdampf aus.

55

Mit dem Wanderelement werden an mehreren Stellen 180 °C, max 202 °C gemessen.

60

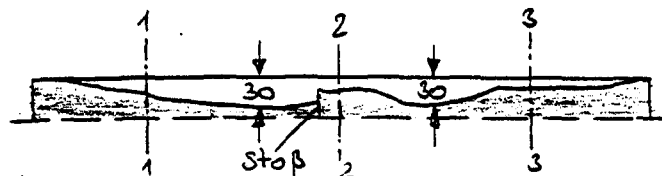
Mit dem Wanderelement werden an mehreren Stellen 185 °C, max 210 °C gemessen.

62

Die Wolle sackt ca. 30 mm tief ab. Die Fuge ist jedoch noch auf ganzer Länge dicht.

65

Die Mineralfaserplatten werden von den Thermoelementen gehalten.



69

Die Mineralwolle wird fleckig. Es sieht so aus, als ob sie durchbrennen wolle. Glut ist jedoch keine zu sehen.

71

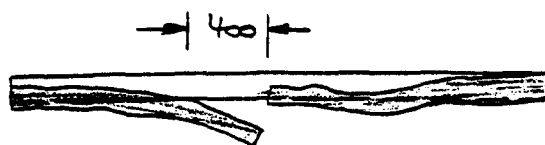
Am westlichen Fugenufer ist fast auf ganzer Länge der Feuerschein sichtbar.

75

Die Mineralwolle ist jetzt stellenweise 40 mm tief abgesackt. Aus dem westlichen Fugenufer tritt rußiger Rauch aus. Der angehaltene Wattebausch verfärbt sich.

77

Die Mineralwolle hängt auf ca. 400 mm Länge in die Brandkammer. Das Feuer schlägt durch. Ende der Beflammung.



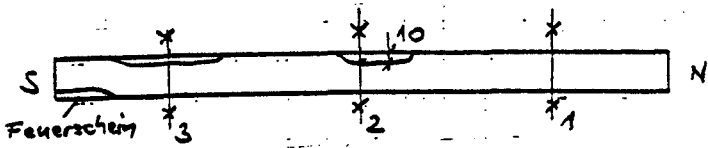
Nach dem Abbruch fiel die Mineralwolle ganz in die Brandkammer.

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.118

Besondere Beobachtungen , Versuch 9

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 24 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
15	Aus der Fugendichtungsmasse tritt weißer Rauch aus.
22	Die Fugendichtungsmasse beginnt am Westufer abzureißen (bei Meßquerschnitt 3).
25	Der Rauchaustritt aus den Meßquerschnitten wird stärker.
43	Mit dem Wanderelement werden über den abgerissenen Stellen maximal 162 °C gemessen.
	
47	Die Fuge ist 35 mm breit!!! In der Mitte werden max 210 °C gemessen.
52	Mit dem Wanderelement werden über der in der Mitte abgerissenen Stelle 420 °C gemessen.
54	Die Fugendichtungsmasse ist am Westufer fast auf ganzer Länge abgerissen. Auf der Dichtungsmasse werden ca. 60 - 70 °C gemessen.
57	Ende der Beflammung Aufgrund des groben Steuerfehlers wurde dieser Versuch nicht gewertet.

Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

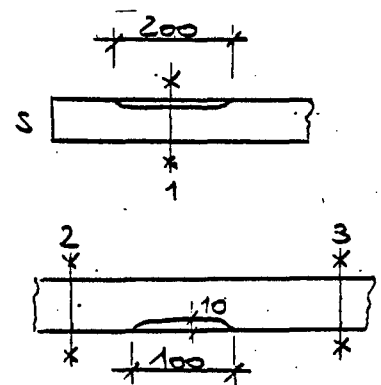
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.119

Besondere Beobachtungen , Versuch 10

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 20 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
9	Rauchaustritt am Kabelbündel in Meßquerschnitt 1.
17	Es werden entzündbare Gase festgestellt. (Das Feuer mußte anschließend mit Mineralwolle gelöscht werden).
20	Die Dichtungsmasse beginnt bei Meßquerschnitt 1 West abzureißen.
29	Weiterer Abriß in Fugenmitte auf der Ostseite. Ober dem Riß werden mit dem Wanderelement 150 °C gemessen. Sonst auf der Fuge ca. 48 °C.
32	Starke Rauchentwicklung.
33	Das Fugenostufer ist fast auf ganzer Länge abgerissen.
42	Immer noch starker weißer Rauchaustritt.
49	Mit dem Wanderelement werden in der Mitte an der abgerissenen Stelle 240 °C, bei Meßquerschnitt 3 max 322 °C gemessen.
61	Auf der Fuge: 100 °C; bei MQ 3: 350 °C; sonst max 270 °C.
64	Immer noch starker Qualmaustritt.
66	Die Fugendichtungsmasse brennt. Ende der Beflammung.



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.120

Besondere Beobachtungen , Versuch 11

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Wiederholung von Versuch 9</p> <p>Anfangstemperatur = 20 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.</p>
28	Geringer Rauchaustritt aus dem Elementstrang bei Meßquerschnitt 3.
68	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge ca. 68 °C, am Fugenrand max 100 °c gemessen.
72	Aus der Fugendichtungsmasse steigt auf der ganzen Fläche feiner Dampf auf. Die Gase sind nicht entzündbar.
90	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge ca. 80 °C, am Fugenufer max 130 °c gemessen.
105	Auf der Fuge ca. 110 °C, am Fugenufer max 140 °C. Die Fuge ist auf der dem Feuer abgekehrten Seite noch vollständig intakt.
110	Ende der Beflammung.
<p>Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls</p> <p style="text-align: right;">Teil II</p>	
<p>Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	
<p>Anlage 4.121</p>	

Besondere Beobachtungen , Versuch 12

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 21 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 30 mm auf 35 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
52	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge ca. 60 °C, an den Fugenrändern ca. 70 °C gemessen.
75	An beiden Fugenufern bilden sich Blasen (wie von Kaugummi).
80	Der Feuerschein ist am westlichen Fugenufer bei Meßquerschnitt 3 auf ca. 30 mm Länge durch die geschlossene Fugendichtungsmasse hindurch zu sehen. Über dieser Stelle werden mit dem Wanderelement 96 °C gemessen.
90	Mit dem Wanderelement werden max 150 °C gemessen. In den großen Blasen (Ø ca. 25 mm) kondensiert Wasser.
95	Die Fugendichtungsmasse haftet immer noch auf ganzer Länge an den Fugenufern.
100	Auf der Fuge ca. 105 °C, am Fugenufer max 185 °C.
106	Ende der Beflammung. Die feuerseitige Mineralwolle hängt größtenteils noch in Schlangenlinien in der Fuge.
Dehn f u g e n , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.122	

Besondere Beobachtungen , Versuch 13

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 20 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn nicht aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
26	Geringer Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 3.
75	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge 64 - 72 °C, am Fugenrand max. 120 °C gemessen.
76	Es werden entzündbare Gase aus Meßquerschnitt 3 festgestellt.
84	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge 94 °C gemessen.
102	Ende der Beflammung. Die Fugendichtungsmasse haftet noch auf ganzer Länge an den Fugenufern.
Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.123	

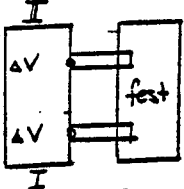
Besondere Beobachtungen , Versuch 14

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 22 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn nicht aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
23	Am Meßquerschnitt 3 tritt weiß-grauer Rauch aus. Die Gase sind entzündbar.
31	Auf der ganzen Fuge liegt leichter Rauch. Die östliche Halbschiene ist voller Rauch.
35	Starke Qualmentwicklung.
36	Die Fugendichtungsmasse reißt am Ostufer bei Meßquerschnitt 1 ab.
42	Die Dichtungsmasse reißt am Ostufer an weiteren Stellen ab.
60	Die Risse sind ca. 10 mm breit. Das Westufer ist jetzt auch an einigen Stellen abgerissen.
65	Mit dem Wanderelement werden über den Rissen max 135 °C gemessen.
80	Am Fugenrand (Riß) werden mit dem Wanderelement max 160 °C gemessen. Immer noch starker Qualmaustritt.
82	Bei einem Riß wird der Feuerschein sichtbar.
90	Ober dem ca. 300 mm langen und 10 mm breiten Abriß am Ostufer (Mitte) werden max 185 °C gemessen, auf der Fuge 95 °C. Die Fugendichtungsmasse hat sich an den Rißkanten bräunlich verfärbt.
99	Die vollgedampfte Abdeckwolle am südlichen Fugenende entzündet sich und brennt weiter.
100	Ende der Beflammung.
Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.124	

Besondere Beobachtungen , Versuch 15

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 19 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn nicht aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
20	Geringer Rauchaustritt am Meßquerschnitt 3.
39	Rauch aus Meßquerschnitt 1 und 3.
50	Rauch aus allen Meßquerschnitten.
63	Der Rauchaustritt verstärkt sich.
75	Starke Rauchentwicklung.
89	Mit dem Wanderelement werden auf der Fuge 120 °C, am Fugenrand 145 °C gemessen.
94	An den Fugenenden beginnt die Fugendichtungsmasse zu brennen. (Die Abdeckwolle war von brennbarem Rauch getränkt).
95	Ende der Beflammung.
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II	
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	
Anlage 4.125	

Besondere Beobachtungen , Versuch 16

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 22 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
15 - 17	Dampf/Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 2.
26	Rauchaustritt aus allen Meßquerschnitten
38	 <p>Bei I hat sich der Versuchskörper ca. 2 mm vom Auflager abgehoben. $\Delta V_I = 20 \text{ mm}; \quad \Delta V_{II} = 27 \text{ mm}.$</p>
40	Keine Verdrehung bei II aufgebracht, weil die Platte schon über das Sollmaß abgesenkt war.
43	Die Fugendichtungsmasse haftet noch auf ganzer Länge.
49	Im Fugenfüllstoff werden dunkle Flecken sichtbar.
55	Mit dem Wanderelement werden am abgesenkten Fugenufer 70 °C, am festen Fugenufer 80 °C gemessen.
64	Der Versuchskörper liegt wieder voll auf dem Lager auf.
72	Am abgesenkten Fugenufer ist durchgehend roter Feuerschein zu sehen. Die Fugendichtungsmasse haftet noch.
73	Die Fuge reißt von II ausgehend auf der abgesenkten Seite auf; die Mineralwolle wird mit hochgezogen, so daß die Fuge im Riß geschlossen bleibt.
75	Im Riß werden mit dem Wanderelement 165 °C, im geschlossenen Teil 100 °C gemessen. (Die Wolle wird mit hochgezogen, wenn die Fugendichtungsmasse abreißt und sich zusammenzieht).
77	Die Fugendichtungsmasse ist auf der abgesenkten Seite zu 2/3 abgerissen.
87	Riß jetzt durchgehend, Wolle auf ganzer Länge hochgezogen.
95	Mit dem Wanderelement werden im Riß 170 - 180 °C gemessen.
100	Ende der Beflammung.

Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
 4.126

Besondere Beobachtungen , Versuch 17

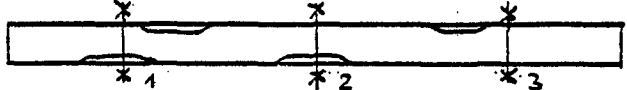

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 22 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse ist an einer Stelle auf ca. 50 mm Länge vom Fugen- ufer abgerissen.
12	Aus der abgerissenen Stelle tritt Rauch aus.
16	Starker Rauchaustritt aus der abgerissenen Stelle und aus Meßquer- schnitt 3. Der Rauch zündet bei Anhalten der Lunte sofort und brennt weiter.
34	Der Riß ist jetzt 70 mm lang, 10 mm breit und ca. 20 mm hoch gewölbt.
36	Im Riß wird der Feuerschein sichtbar. Mit dem Wanderelement werden hier 270 °C gemessen.
44	Bei Meßquerschnitt 3 Ost wird der Feuerschein unter der Fugendichtungs- masse sichtbar. Rauchaustritt am Meßquerschnitt 3.
47	Über dem Riß werden mit dem Wanderelement max 400 °C gemessen. Der hier angehaltene Wattebausch verfärbt sich leicht bräunlich.
55	Die Dichtungsmasse beginnt bei Meßquerschnitt 2 am abgesenkten Ufer abzureißen und steht ca. 40 mm hoch.
59	Der Riß bei Meßquerschnitt 2 ist jetzt ca. 70 mm lang. Starker Rauch- austritt.
60	Die Fugendichtungsmasse reißt am abgesenkten Ufer an weiteren Stellen ab.
61	Über dem 1. Riß werden max 520 °C gemessen.
65	Am ganzen Ostufer (abgesenkt) ist der Feuerschein sichtbar. Das Ostufer ist noch nicht durchgehend abgerissen.
68	Bei Meßquerschnitt 3 verwandelt sich die Fugendichtungsmasse an der Flanke in weißes Mehl.
73	Der angehaltene Wattebausch verfärbt sich schwarz.
80	Ende der Beflammung. Nach dem Abstellen der Brenner zündet die Fuge und brennt weiter.

Dehn f u g e n , Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.127

Besondere Beobachtungen , Versuch 18

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 17 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
12	70 mm langer Abriß am Westufer, 30 mm nördlich von Meßquerschnitt 1.
15	60 mm langer Abriß neben Meßquerschnitt 3. Rißbreiten ca. 9 mm. Hellgrauer Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 3.
20	Geringer Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 2, stärkerer am Meßquerschnitt 1. Weitere Abrisse.
	 Bei MQ 1 : 
24	Das Ostufer (abgesenkt) ist jetzt auf halber Länge abgerissen. Die Mineralwolle hängt an der Dichtungsmasse, wird also mit hochgezogen.
27	Qualm/Wasserdampfaustritt aus der Fuge.
31	Das Ostufer ist bis auf 50 mm Restlänge abgerissen. Stärkerer Wasserdampfaustritt.
58	Bei den Kabeldurchführungen von Meßquerschnitt 1 und 3 wird auf ca. 10 mm Länge und 1 mm Breite der Feuerschein sichtbar.
70	Mit dem Wanderelement werden ca. 50 mm südlich von Meßquerschnitt 2 215 °C gemessen.
76	Stärkerer Feuerschein auf 70 mm Länge bei Meßquerschnitt 3. Hier werden 295 °C gemessen. Immer noch Rauchaustritt auf ganzer Fugenlänge.
78	An der erst jetzt abgerissenen Reststelle ist die Mineralwolle auf ca. 50 mm Breite dunkel verfärbt. Diffuser Feuerschein auf 10 mm Länge zwischen Meßquerschnitt 1 und 2. Hier werden 215 °C gemessen.
86	Mit dem Wanderelement werden an mehreren Stellen 260 °C, max 265 °C gemessen. Bei Meßquerschnitt 3 beginnt die Mineralwolle durchzubrennen.
90	Über der Durchbrandstelle werden mit dem Wanderelement 310 °C, sonst 280 - 285 °C gemessen.
93	Ende der Beflammung.

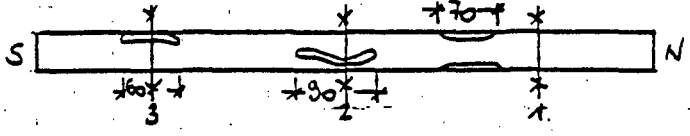
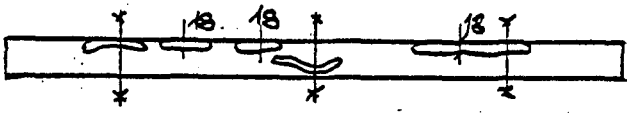

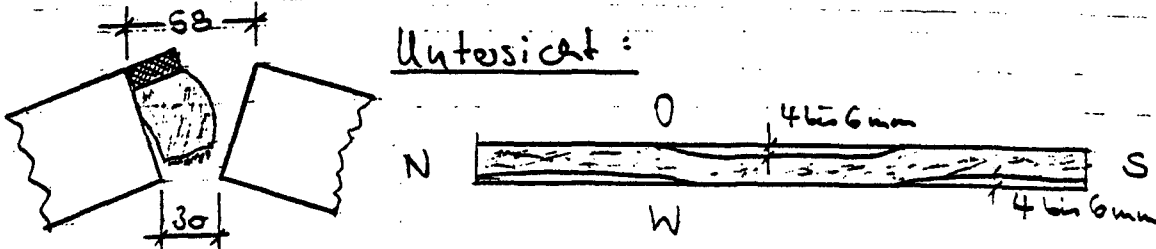
Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.128

Besondere Beobachtungen , Versuch 19


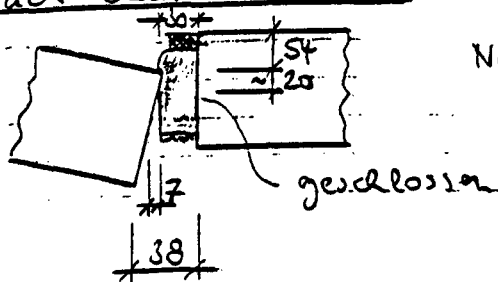
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 19 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
17	Erste Abrisse. Aus den abgerissenen Stellen tritt Rauch aus. 
22	Weitere Abrisse 
27	
36	Bei Meßquerschnitt 1 West ist der Feuerschein auf 15 mm Länge sichtbar. Die Rißbreiten betragen ca. 25 mm.
40	Mit dem Wanderelement werden in den Rissen 90 - 110 °C gemessen.
50	Es werden max 130 °C gemessen.
55	In den Rissen max 150 °C.
62	Zwischen Meßquerschnitt 2 und 3 werden mit dem Wanderelement max 230 °C gemessen.
72	Der Feuerschein ist auf ganzer Länge ca. 2,5 mm breit sichtbar.
79	In den Rissen werden 380 - 410 °C gemessen.
82	Der über den Rissen angehaltene Wattebausch färbt sich schwarz. Die mit dem Wanderelement gemessenen Temperaturen betragen 380 - 410 °C.
89	Ende der Beflammung. 

Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.129

Besondere Beobachtungen , Versuch 20

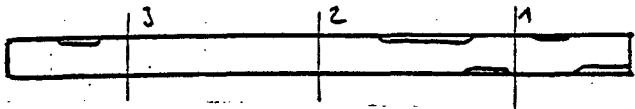
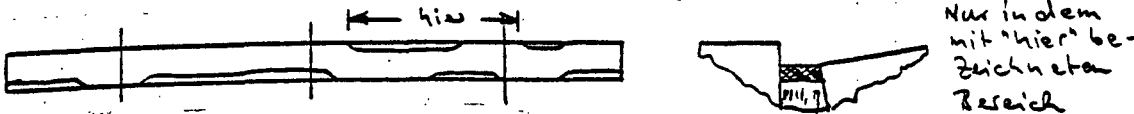

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 20 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.</p>
19	Das Westufer reißt an 2 Stellen in den Drittelpunkten auf ca. 50 mm Länge ab.
28	Erster Abriß am Ostufer (ebenfalls ca. 50 mm lang). Rauchaustritt aus allen Rissen und allen Meßquerschnitten.
30	<p>Die Dichtungsmasse reißt am Ostufer (abgesenkt) weiter ab. Die Mineralwolle wird mit hochgerissen. In der Wolle sind ölige Perlen von Kondenswasser und Bindemittel zu sehen. Wasserdampfaustritt aus der Mineralwolle.</p> 
42	Die Fugendichtungsmasse ist vom Ostufer bis auf 40 mm Rest abgerissen.
47	Das Ostufer ist jetzt durchgehend abgerissen. Mit dem Wanderelement werden 80 - 95 °C gemessen. Immer noch Wasserdampfaustritt.
85	Mit dem Wanderelement werden 100 - 110 °C gemessen.
90	Die Mineralwolle schließt die Fuge noch auf ganzer Länge ab. Immer noch Wasserdampfaustritt.
100	<p>Die Mineralwolle ist noch normal gefärbt.</p> <p>Ende der Beflammung.</p> <p><i>nach dem Versuch:</i></p> 

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.130

Besondere Beobachtungen , Versuch 21

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 20 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse ist nach dem Aufziehen an mehreren Stellen abgerissen.</p> 
10	Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 2 und 3.
15	Sehr starke Qualmentwicklung und weitere Abrisse auf der Ostseite (abgesenkt).
20	<p>Nur noch geringe Qualmentwicklung.</p> 
30	Wieder starke Rauchentwicklung (vor allem in der Mitte).
35	Wasserdampfaustritt aus der Fuge. Mit dem Wanderelement werden am Ostufer max 105 °C gemessen.
40	Das Ostufer ist bis auf verbleibende 200 mm zwischen Meßquerschnitt 1 und 2 abgerissen.
53	<p>Zwischen Meßquerschnitt 2 und 3 ist an einer Stelle Feuerschein in der Wolle sichtbar. Hier werden mit dem Wanderelement ca. 250 °C gemessen. Am Rand max 165 °C. Die Mineralwolle hat sich an o.a. Stelle dunkelbraun verfärbt. Da die Mineralwolle oben und an den Seiten klebt, wird sie in der Mitte auseinander gerissen.</p> 
60	Der Feuerschein ist jetzt auf ca. 50 mm Länge sichtbar. Hier werden max 390 °C gemessen. Der Wattebausch färbt sich leicht bräunlich.
70	Außerhalb des Risses werden max 230 °C gemessen.
72	<p>Ende der Beflammung</p> <p>Beim Aufziehen nach dem Versuch zeigt sich, daß der Scherriß über die ganze Fugenlänge durchgeht.</p>

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

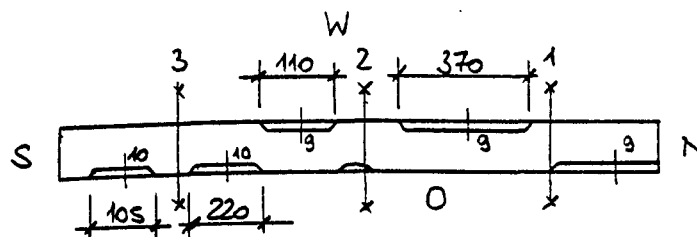
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.131

Besondere Beobachtungen , Versuch 22

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 20 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn nicht aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
25	Geringer Wasserdampfaustritt aus Meßquerschnitt 3.
42	Das Ostufer reißt zwischen Meßquerschnitt 2. und 3 auf 70 mm Länge ab.
51	Die Qualmentwicklung nimmt zu.
55	Am Westufer hat sich ein 150 mm langer Riß gebildet.
66	Das Westufer ist zwischen Meßquerschnitt 1 und 2 fast durchgehend abgerissen.
72	Mit dem Wanderelement werden über den Rissen 115 - 142 °C gemessen.
90	Über den Rissen max 199 °C.
93	Über dem Riß am Westufer werden max 225 °C gemessen.
97	Mit dem Wanderelement werden jetzt max 230 °C gemessen.
100	Ende der Beflammung.

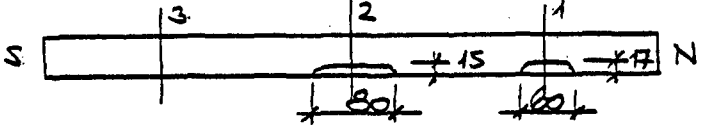
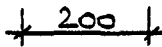


Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.132

Besondere Beobachtungen , Versuch 23

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	Anfangstemperatur = 17 °C Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.
11	Bei Meßquerschnitt 2 Ost ist das Ufer auf 15 mm Länge und 5 mm Breite abgerissen. Sonst unverändert.
20	Geringer Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 2 und 3.
25	Weitere Abrisse: 
32	An der abgerissenen Stelle bei Meßquerschnitt 2 wird der Feuerschein sichtbar. 
35	Jetzt auch Abriß bei Meßquerschnitt 3.
37	Das Ostufer ist jetzt bis auf 2 je 100 mm lange Reststücke vollständig abgerissen.
38	Über dem Feuerschein bei Meßquerschnitt 2 werden max 390 °C gemessen.
40	Der Feuerschein ist vom Südrand bis zur Mitte zwischen Meßquerschnitt 1 und 2 max 4 mm breit sichtbar.
46	Der über dem Ostufer angehaltene Wattebausch zündet. Das Ostufer ist jetzt vollständig abgerissen.
50	Mit dem Wanderelement werden max 500 °C gemessen.
52	Ende der Beflammung.

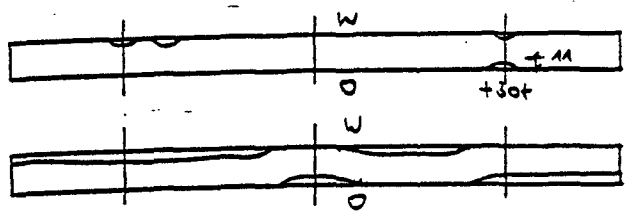
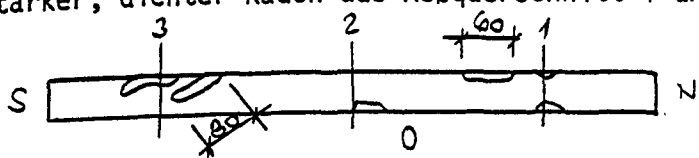
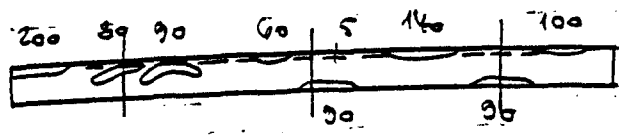
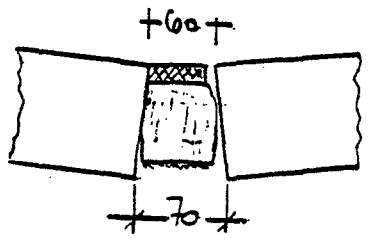
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.133

Besondere Beobachtungen , Versuch 24

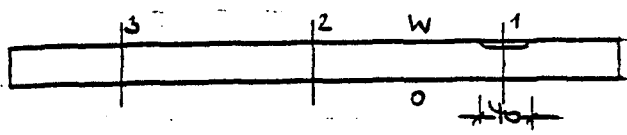
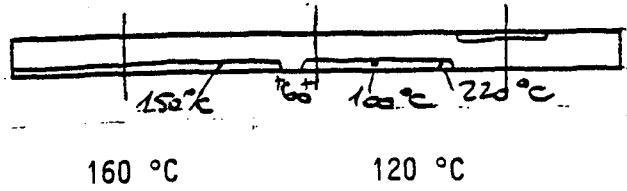
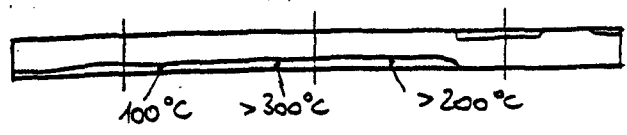
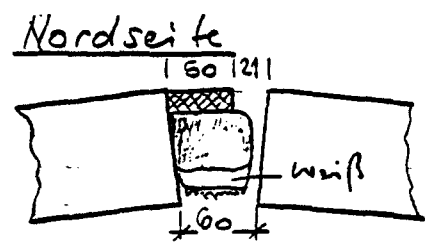
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 19 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Dabei ist die Fugendichtungsmasse an folgenden Stellen abgerissen:</p>  <p>Oberseite</p> <p>Unterseite</p>
10	Starker Rauchaustritt aus Meßquerschnitt 3 und dem daneben liegenden RiB (nicht zündbar).
12	Nur noch geringer Rauchaustritt; jetzt auch aus Meßquerschnitt 2 Ost.
20	<p>Starker, dichter Rauch aus Meßquerschnitt 1 und 3.</p> 
27	Ober dem o.a. Querriß werden ca. 100 °C gemessen.
33	Der Feuerschein wird an einigen Stellen sichtbar.
41	Mit dem Wanderelement werden max. 365 °C über dem RiB zwischen Meßquerschnitt 1 und 2 gemessen.
42	Der Feuerschein wird bei allen Rissen auf der Westseite durchgehend stärker sichtbar (ca. 2 mm breit). Starker Feuerschein bei Meßquerschnitt 1 Ost. Hier werden 340 °C gemessen.
48	Jetzt 470 °C über dem RiB zwischen Meßquerschnitt 1 und 2.
50	<p>Ende der Beflammung.</p> <p><u>Nach dem Versuch:</u></p>  <p>Rissbreite ca. 15 mm</p> <p><u>Nordseite:</u></p> 

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.134

Besondere Beobachtungen , Versuch 25

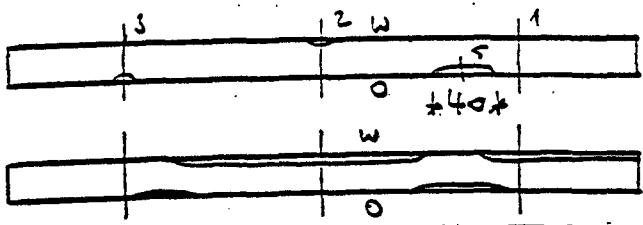

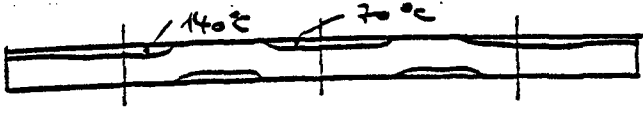
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 21 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse ist auf der feuerabgekehrten Seite an einer Stelle, auf der Feuerseite fast durchgehend abgerissen.</p> 
18	Der Abriß bei Meßquerschnitt 1 West ist jetzt 80 mm lang.
21	Bei Meßquerschnitt 2 Ost 40 mm langer Abriß im Bereich der Meßkabel.
22	Bei Meßquerschnitt 3 Ost 80 mm langer Abriß im Bereich der Kabel.
26	Mit dem Wanderelement werden zwischen Meßquerschnitt 2 und 3 über einem Riß am Ostufer 170 °C gemessen.
30	
35	
40	
45	Der angehaltene Wattebausch färbt sich an einer Ecke braun.
46	Im gesamten Rißbereich werden mit dem Wanderelement Temperaturen > 200 °C gemessen.
52	<p>Flammen am Ostufer.</p> <p>Ende der Beflammung.</p> <p><u>nach dem Versuch:</u></p> <p><u>Nordseite</u></p> 

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.135

Besondere Beobachtungen , Versuch 26

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 22 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen.</p>  <p>Fugenoberseite</p> <p>Fugenunterseite</p>
12	 <p>Fugenoberseite</p>
20	Dichter Rauch am Meßquerschnitt 1; geringer Rauch aus Meßquerschnitt 3.
25	 <p>Fugenoberseite</p> <p>Bei den Rissen mit Temperaturangabe ist Feuerschein sichtbar.</p>
31	Ober dem Feuerschein werden max 130 °C gemessen. Geringer Qualmaustritt aus den Rissen.
43	Ober dem Feuerschein werden max 160 °C gemessen.
50	Die Brücke zwischen Meßquerschnitt 2 und 3 ist abgerissen.
52	Mit dem Wanderelement werden max 185 °C gemessen.
57	Am Mineralfaserplattenstoß werden 250 °C gemessen.
60	Das Westufer (fest) ist durchgehend abgerissen.
62	Mit dem Wanderelement werden am Stoß 440 °C, sonst max 240 °C gemessen.
65	Der Mineralfaserplattenstoß ist ca. 4 mm breit.
74	Ober die ganze Fugenlänge werden 240 - 250 °C gemessen.
75	Ende der Beflammung.

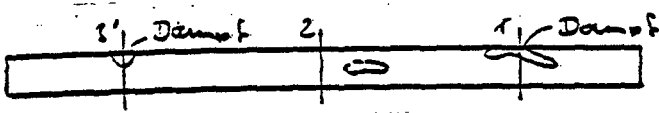
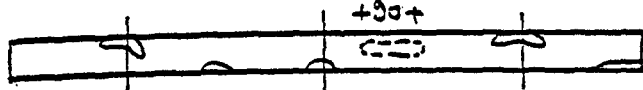
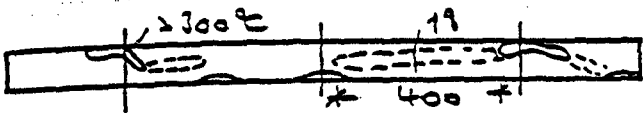
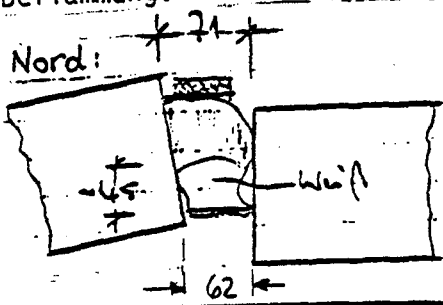
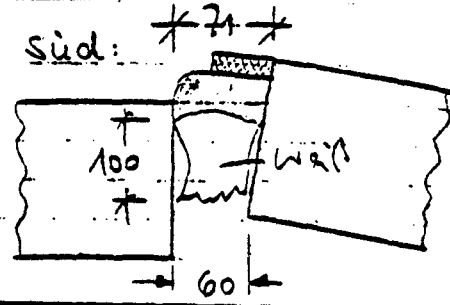
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.136

Besondere Beobachtungen, Versuch 27

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 20 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 50 mm auf 60 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse haftet auf ganzer Länge an den Fugenufern.</p>
25	
27	Die Qualmbildung wird stärker.
29	 <p>Aus allen Rissen tritt Rauch aus.</p>
34	Bei Meßquerschnitt 1 und 3 wird Feuerschein sichtbar.
37	
42	Bei Meßquerschnitt 1 werden mit dem Wanderelement 240 °C gemessen.
54	Der neben Meßquerschnitt 1 angehaltene Wattebausch färbt sich schwarz.
55	Da die Fuge schon durchgefallen ist, wird das Westufer abgeschnitten. Nach dem Abschneiden wird die Westseite durch die hochgezogene Wolle fast wieder dicht.
65	Am Westufer wird an 2 Stellen max 180 °C, sonst 120 - 140 °C gemessen.
72	An zwei Stellen 210 °C, sonst ca. 170 °C.
78	Am Westufer an mehreren Stellen 230 °C, sonst 150 - 180 °C.
80	<p>Ende der Beflammung.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nord:</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Süd:</p>  </div> </div>

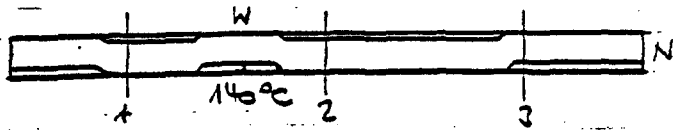
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.137

Besondere Beobachtungen , Versuch 28

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 20 °C</p> <p>Die Fugendichtungsmasse ist durch die künstliche Alterung versetzt durchgehend abgerissen.</p>
19	<p>Rauchaustritt am Ostufer zwischen Meßquerschnitt 1 und 2 auf ca. 100 mm Länge.</p>
40	<p>Über den abgerissenen Stellen werden max 100 °C gemessen. Der Rauchaustritt hat sich etwas verstärkt.</p>
60	<p>Rauch aus allen abgerissenen Stellen.</p> 
80	<p>Mit dem Wanderelement werden max 165 °C gemessen.</p>
100	<p>Mit dem Wanderelement werden max 180 °C gemessen.</p> <p>Ende der Beflammung.</p>

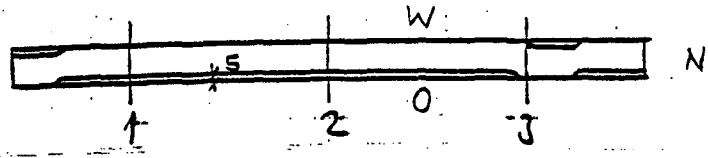
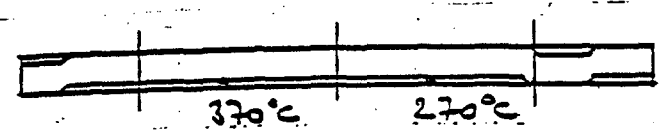
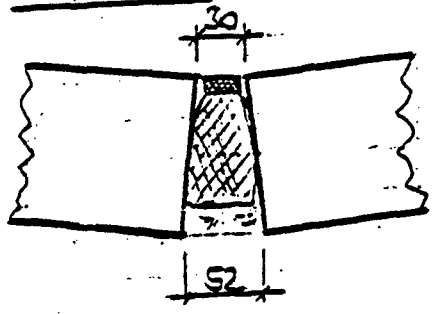
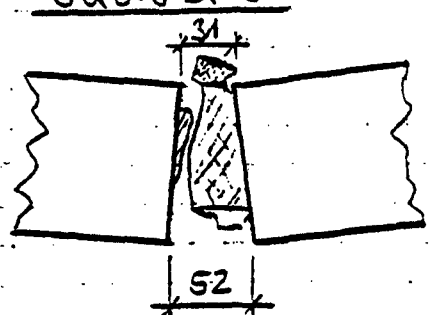
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.138

Besondere Beobachtungen , Versuch 29

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 19 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen.</p> 
10- 20	Starke Qualmentwicklung. Der Versuch wurde zu Beginn verkehrt gesteuert.
27	Der Feuerschein ist an mehreren Stellen sichtbar.
34	Mit dem Wanderelement werden max 350 °C gemessen.
53	
56	<p>Ende der Beflammung.</p> <p>Der Versuch kann nicht gewertet werden, weil verkehrt gesteuert wurde. (Die Fuge war zeitweise viel zu weit aufgezogen. Dadurch zu starke Durchhitzung der Fugenränder).</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><u>Nordseite</u></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><u>Südseite</u></p>  </div> </div>


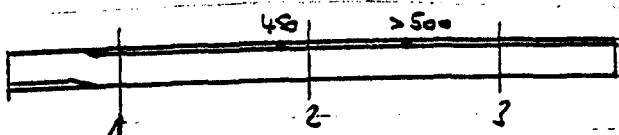
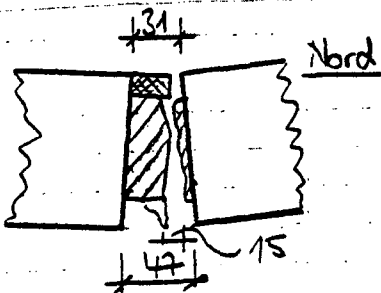
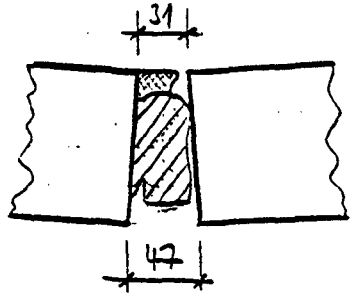
Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.139

Besondere Beobachtungen , Versuch 30

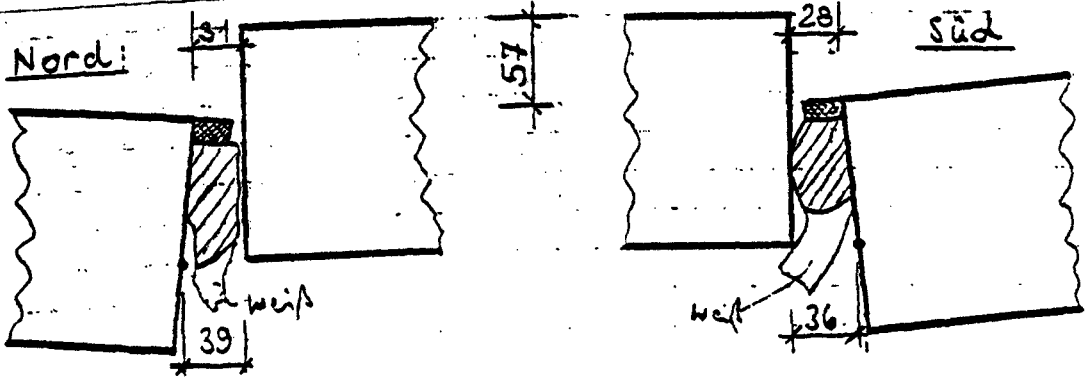
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 18 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Die Fugendichtungsmasse ist durch die künstliche Alterung durchgehend abgerissen.</p> 
6	Mittelstarker hellgrauer Qualmaustritt aus dem Abriss zwischen Meßquerschnitt 2 und Nordseite.
9	Die ganze Fuge ist ca. 15 mm hoch vernebelt (schwerer Qualm, evtl. zündbar. Nicht getestet, da der Versuch sonst beendet gewesen wäre).
13	Die Qualmentwicklung hat stark nachgelassen.
24	An einigen Stellen wird der Feuerschein sichtbar.
29	Mit dem Wanderelement werden über Meßstelle 6 360 °C gemessen.
34	An 2 Stellen 430 °C, an mehreren Stellen 300 °C.
37	
44	<p>Der zwischen Meßquerschnitt 2 und 3 angehaltene Wattebausch zündet.</p> <p>Ende der Beflammung.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>Nord</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Süd</p>  </div> </div>

Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls
Teil II

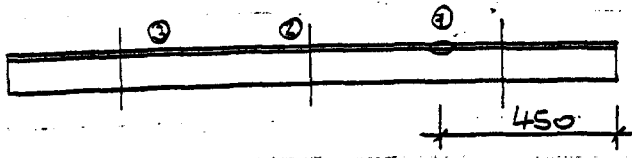

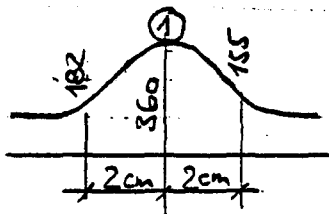
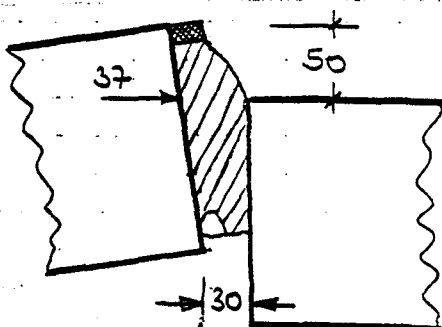
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.140

Besondere Beobachtungen , Versuch 31

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 21 °C</p> <p>Die Fugendichtungsmasse ist durch die künstliche Alterung am Westufer durchgehend abgerissen. Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen.</p>
11	Beginnende Qualmentwicklung.
33	Leichter Feuerschein an mehreren Stellen.
45	Mit dem Wanderelement werden am Westufer 80 - 85 °C gemessen.
60	Am Westufer werden 80 - 90 °C gemessen. Immer noch leichter Qualmaustritt.
78	Mit dem Wanderelement werden max 180 - 200 °C gemessen; sonst ca. 140 °C. Wieder stärkerer Feuerschein.
83	Mit dem Wanderelement werden bei Meßquerschnitt 2 und 250 mm rechts davon jeweils 210 °C gemessen.
89	Mit dem Wanderelement werden max 280 °C gemessen.
95	<p>Mit dem Wanderelement werden max 320 °C gemessen.</p> <p>Ende der Beflammung.</p>
	
<p>Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls</p> <p style="text-align: right;">Teil II</p>	
<p>Institut für Baustoffe , Massivbau und Brandschutz Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	
<p>Anlage 4.141</p>	

Besondere Beobachtungen , Versuch 32

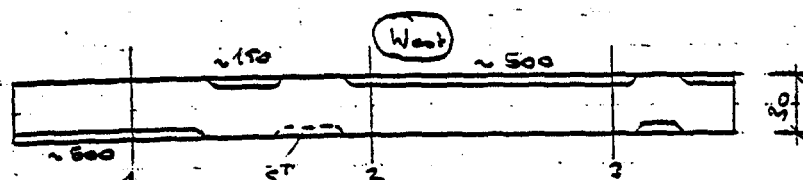
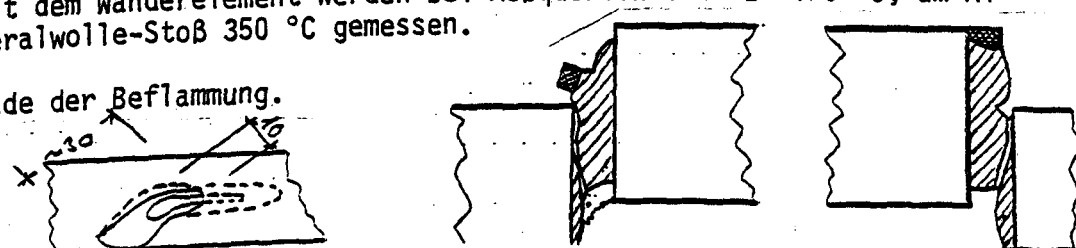
Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 19 °C</p> <p>Die Fugendichtungsmasse ist durch die künstliche Alterung am Westufer durchgehend abgerissen. Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen.</p>
15	Auf ganzer Länge des Westufers tritt weißer Qualm aus.
20	<p>Aus der mit 1 bezeichneten Stelle sehr starker Rauchaustritt. Sonst kein Rauchaustritt mehr, dafür kristallartiger weißer Niederschlag.</p> 
25	Nach dem Steuern wieder auf ganzer Länge Rauchaustritt.
31	<p>Mit dem Wanderelement werden in der Mitte und in den 1/3 Punkten in der Reihenfolge: ① ② ③ 75 °C - 60 °C - 72 °C gemessen.</p>
44	<p>wie vor: 85 °C - 86 °C - 80 °C</p> 
54	wie vor: 196 °C - 96 °C - 90 °C
57	<p>Bei ① werden 270 °C gemessen. Hier befindet sich der Stoß der Minderaufaserplatten. Die hohen Temperaturen sind auf einen Bereich von ca. 20 mm beschränkt. Unmittelbar neben der Stoßstelle fallen die Temperaturen stark ab.</p>
65	<p>Temperaturprofil bei ① :</p> 
75	<p>Der bei ① angehaltene Wattebausch zeigt sehr geringe Braunfärbung.</p>
88	wie vor: 380 °C - 125 °C - 130 °C
100	> 400 °C - 280 °C - 210 °C
101	<p>Ende der Beflammung.</p> 

Dehnfugen , Anforderungen und Konstruktion unter Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe , Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage
4.142

Besondere Beobachtungen , Versuch 33

Versuchsdauer [min]	Beobachtungen auf der dem Feuer abgekehrten Seite
0	<p>Anfangstemperatur = 18 °C</p> <p>Die Fuge wurde vor Versuchsbeginn von 25 mm auf 30 mm aufgezogen. Nachdem die Fuge um 3 mm aufgezogen ist, beginnen die Fugenufer versetzt abzureißen.</p> 
5	Das letzte Stück reißt ab.
9	Aus dem Riß bei Meßquerschnitt 1 steigt leichter, hellgrauer Rauch auf.
20	Nur ganz geringer Qualmaustritt.
36	Bei Meßquerschnitt 1 hat sich der abgerissene Fugenrand an der Kante bräunlich verfärbt. Die Mineralwolle wird am Westufer abgeschert, am Ostufer hochgezogen.
41	Rauchfahne auf 20 mm Länge aus Meßquerschnitt 2 Ost. Ansonsten geringer Qualmaustritt.
47	Mit dem Wanderelement werden am Fugenrand max 110 °C gemessen.
57	Die Fugendichtungsmasse haftet von der Südseite bis zur Mitte (Meßquerschnitt 2) am festen Westufer und hält die Mineralwolle fest. Auf der restlichen Fugenlänge haftet die Dichtungsmasse am abgesenkten Ostufer und ist verkippt. In der Mineralwolle hat sich ein Scherriß ausgebildet.
62	Qualmaustritt unverändert. Max 100 - 130 °C.
72	Bei Meßquerschnitt 2 bildet sich in der Mineralwolle ein Loch aus. Hier wird in der Wolle Glut sichtbar. Über dem Loch werden mit dem Wanderelement ca. 240 °C gemessen. Am Mineralwolle-Stoß ist ebenfalls Glut sichtbar.
76	Mit dem Wanderelement werden bei Meßquerschnitt 2 470 °C, am Mineralwolle-Stoß 350 °C gemessen.
80	<p>Ende der Beflammung.</p> 

Dehn fugen , Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

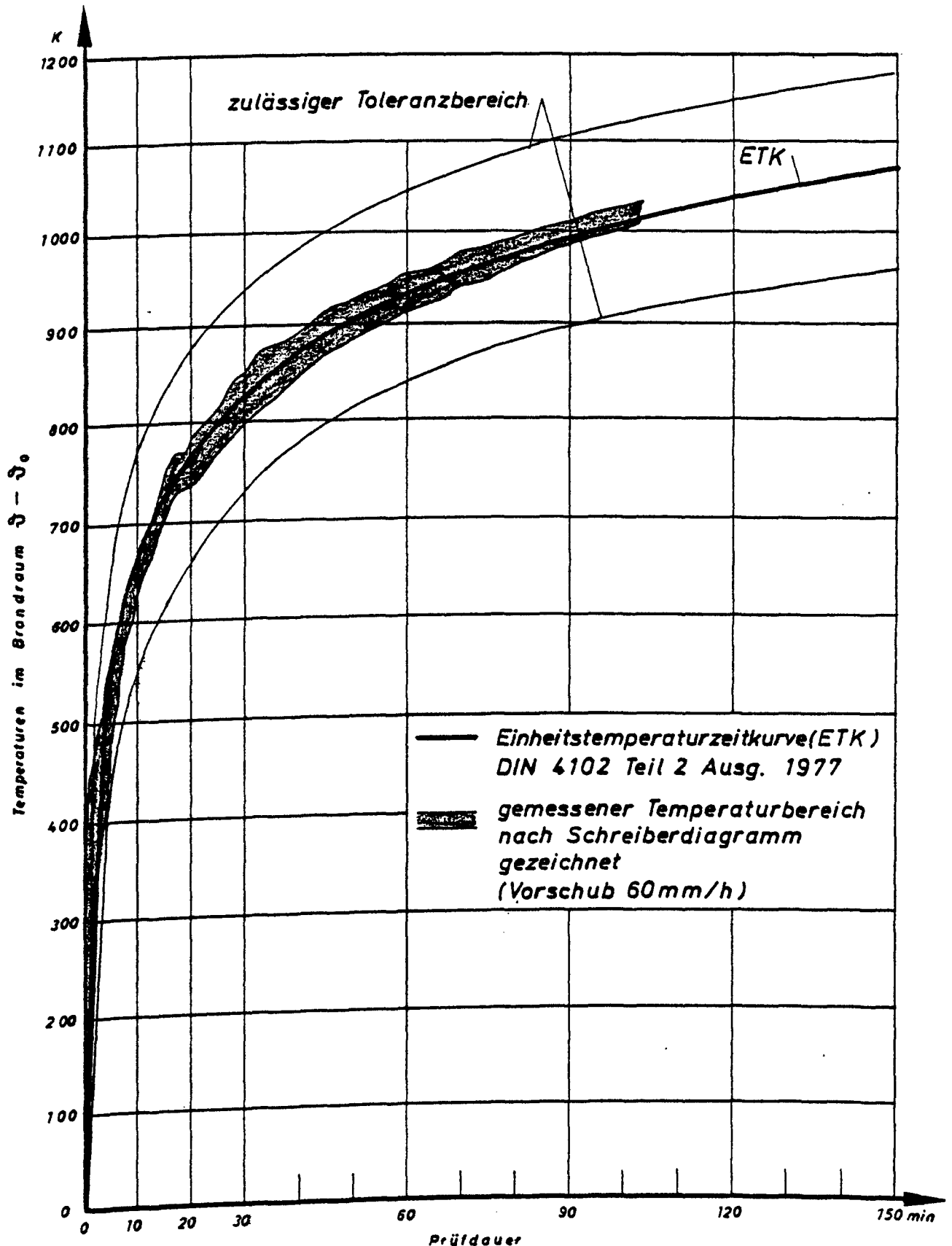
Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.143

Brandraumtemperaturen im Versuch 31



Dehnfugen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls

Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

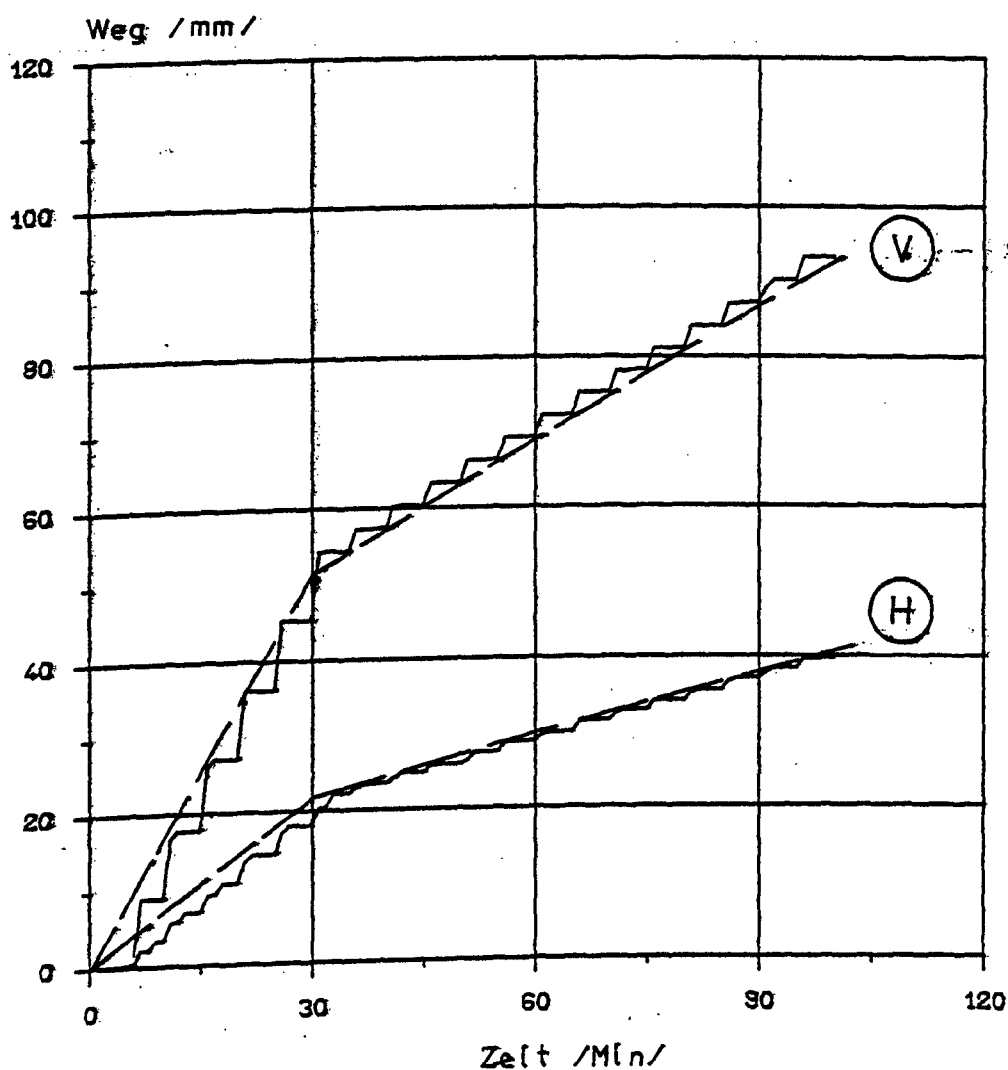
4.150

Steuerfunktion im Versuch 6

— Sollkurve nach Steuerprotokoll
 — Während des Versuchs aufgezeichnete Istkurve

Ⓥ Vertikalweg

Ⓜ Horizontalweg



Dehn fügen, Anforderungen und Konstruktion unter
Berücksichtigung des Brandfalls Teil II

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage

4.151

23. Nov. 2005
0040
30-~~45~~/2-
001